

Untersuchungen zum Brandverhalten von
mit kunststoffmodifizierten Mörteln sanierten Bauteilen

Abschlußbericht
erstattet von

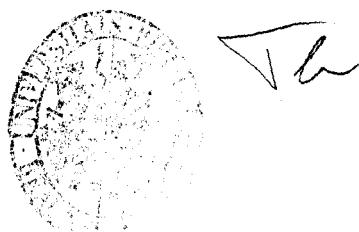
Prof. Dr.-Ing. Karl Kordina
Dipl.-Ing. Peter Nause

Januar 1989

7084-89: 436

Die Untersuchungen wurden im Auftrage des Ministers für Landes- und Stadt-
entwicklung des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. V B 1 - 72.02 - Nv. 190/86)
durchgeführt.

~~BIBLIOTHEK~~
~~Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz~~
~~der Technischen Universität Braunschweig~~
~~Beethovenstraße 52~~
~~D-3300 Braunschweig~~



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Problemstellung	5
2. Ziel des Untersuchungsvorhabens	6
3. Putzschicht zur Wiederherstellung der Querschnitts- abmessungen	7
4. Stand der Erkenntnisse, Auswahl geeigneter Materialien	8
4.1 Stand der Erkenntnisse	8
4.2 Auswahl geeigneter Materialien	10
4.2.1 Anmachen der Mörtel	12
5. Orientierende Vorversuche an Kleinproben	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Beschreibung der Versuchskörper	13
5.3 Beschreibung der unterschiedlichen Sanierungsaufbauten	14
5.3.1 Sanierungsaufbau Hersteller I	14
5.3.2 Sanierungsaufbau Hersteller II	16
5.4 Versuchsbeobachtungen	16
5.4.1 Allgemeines	16
5.4.2 Versuchsbeobachtungen Hersteller I	18
5.4.3 Versuchsbeobachtungen Hersteller II	20
5.5 Erkenntnisse aus den Vorversuchen	21
5.5.1 Hersteller I: Polymere als Dispersion im Anmach- wasser	21
5.5.2 Hersteller II: Kunstharze in Trockenmörtel	21
6. Entwurf, Bemessung und Herstellung der Prüfkörper für die Bauteilversuche	22
6.1 Allgemeines	22
6.2 Beschreibung der Bauteile	23
6.3 Herstellung und Lagerung der noch nicht sanierten Bauteile	24

6.4 Angewendete Sanierungssysteme und -arbeiten.....	24
6.4.1 Angewendete Sanierungssysteme mit Angabe des Kunst- stoffanteils bezogen auf das Zementgewicht.....	24
6.4.2 Beobachtungen während der Sanierungsarbeiten.....	24
6.4.2.1 Allgemeines.....	24
6.4.2.2 Beobachtungen beim Aufbringen der Sanierungs- systeme A, B, C, D.....	27
6.4.2.3 Beobachtungen beim Aufbringen des Sanierungs- systems E.....	27
6.4.2.4 Beobachtungen beim Aufbringen des Sanierungs- systems F (Nachversuch).....	28
6.4.2.5 Beobachtungen beim Aufbringen des Sanierungs- systems G.....	29
7. Materialuntersuchungen.....	29
7.1 Allgemeines.....	29
7.2 Betonfestigkeiten.....	30
7.3 Betonstahlfestigkeiten.....	31
7.4 Mörtelfeuchtigkeit.....	32
7.5 Haftzugfestigkeit.....	33
7.6 Porosität.....	35
8. Versuchsaufbau und -durchführung.....	36
8.1 Allgemeines.....	36
8.2 Versuchsaufbau und -durchführung der Brandversuche.....	38
8.2.1 Allgemeines.....	38
8.2.2 Versuchsbeobachtungen Stützen.....	39
8.2.3 Versuchsbeobachtungen Stützenabschnitte.....	40
8.2.4 Versuchsbeobachtungen Plattenstreifen.....	41
8.2.5 Versuchsbeobachtungen Balken.....	42
8.2.6 Zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Versuchs- beobachtungen.....	43
9. Erkenntnisse und Wertung der Bauteilversuche - Analyse der Versagensursachen.....	44
9.1 Analyse der Versagensursachen - Hersteller I.....	44
9.2 Analyse der Versagensursachen - Hersteller II.....	45
9.3 Modellierung der Versagensursachen und -arten.....	45
9.4 Zusammenfassung und Wertung.....	46

10. Folgerungen für eine praxisgerechte brandschutztechnische Beurteilung von mit kunststoffmodifizierten Mörteln sanierten Stahlbetonbauteilen - Erarbeitung einer Prüfrichtlinie.....	48
---	----

11. Normen und Literaturangaben.....	50
--------------------------------------	----

Anlagen 1 - 68

Fotoanlagen F 1 - F 21

1. Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren ist der Aufwand für Sanierungsmaßnahmen an Stahlbetonbauwerken stark gestiegen. Vorwiegend führen unsachgemäße Bauausführung und -planung (zu geringe Betondeckung und nicht ausreichende Verdichtung des Betons) zusammen mit chemischen Beanspruchungen infolge der Luftverschmutzung zur Korrosion der Bewehrung und daraus folgend zum Absprengen oberflächennaher Betonschichten.

Für die Sanierung für solchermaßen geschädigte Bauteile, deren Standsicherheit noch nicht beeinträchtigt ist, hat die Industrie eine Fülle von Instandsetzungssystemen entwickelt. Die erforderlichen Maßnahmen reichen, je nach Schädigungsgrad, vom Anstrich der Oberfläche korrosionsgefährdeter Stahlbetonbauteile bis hin zur Entfernung des Rostes auf der bereits korrodierten und freiliegenden Bewehrung durch Sandstrahlen und einem erweiterten Korrosionsschutz durch Anstrich der Bewehrung und Verschließen der Ausbruchstelle durch Mörtel und einen Feinspachtel. Anschließend folgt ein Anstrich der Betonoberfläche. Derartige Maßnahmen werden sowohl für vereinzelte kleinere Fehlstellen als auch großflächig an stark geschädigten Flächen angewandt (Instandsetzungssystem).

Bei der großflächigen Sanierung von schadhaften oder geschädigten Betonoberflächen werden zunehmend kunststoffmodifizierte, hydraulisch erhärtende Reparaturmörtel eingesetzt. Diese Mörtel haben gegenüber ausschließlich zementgebundenen Stoffen den Vorteil, daß sie auch unter ungünstigen Verarbeitungsbedingungen einwandfrei verarbeitbar und standsicher sind. Die Zusammensetzung solcher Mörtel ist von Hersteller zu Hersteller verschieden.

Über das Brandverhalten von kunststoffmodifizierten Mörteln und damit sanierten tragenden Bauteilen liegen keine Erkenntnisse vor. Kunststoffe verlieren bei Temperaturen von über 100 °C sehr schnell ihre Festigkeit und treten häufig in den gasförmigen Aggregatzustand über. Diese Phasenumwandlung geschieht in der Regel unter Volumenzunahme und kann damit zum Abplatzen der Mörtelschale führen, die die tragende Bewehrung vor zu starker Erwärmung schützt. Weiterhin haben kunststoffmodifizierte Mörtel gegenüber Beton ein erhöhtes Wasserrückhaltevermögen und damit eine größere Ausgleichsfeuchte, die im Brandfall zu stärkeren Abplatzungen führen kann. Des weiteren können Größe und Verteilung der Porosität im Mörtel das Abplatz-

verhalten deutlich beeinflussen, wenn unter Brandangriff der Altbeton entwässert und die Durchlässigkeit des Sanierungsmörtels gering ist, so daß der Dampfdruck in der Zwischenschicht zu großflächigem Abplatzen führt.

Außerdem sind die instandgesetzten Querschnitte nicht "in einem Guß" hergestellt, sondern in mehreren Arbeitsschritten. Die neue Mörtelschicht muß durch Haftverbund auf dem Untergrund des Altbetons gehalten werden. An dieses Haftvermögen sind also besondere Ansprüche zu stellen. Wesentlicher Bestandteil eines typischen Sanierungssystems ist daher eine Haftbrücke, deren Kunststoffkomponenten bei thermischer Beanspruchung zerfallen und damit den Haftverbund erheblich gefährden können.

Es sind deshalb folgende, das Tragverhalten der Bauteile bei Brandbeanspruchung möglicherweise mindernde Effekte zu untersuchen:

- die Entwicklung von Zersetzungsprodukten des Kunststoffes,
- das Haftvermögen des Mörtels auf der Betonoberfläche,
- das Abplatzverhalten des Mörtels und
- die Temperaturleitfähigkeit des Mörtels bzw. die Erwärmung tragender Bewehrungsstäbe.

Treten diese Effekte im ungünstigen Sinne auf, so wird das Brandverhalten der Bauteile beeinträchtigt.

2. Ziel des Untersuchungsvorhabens

Im Hinblick auf Korrosionsschutzwirkung und Dauerhaftigkeit werden derartige Instandsetzungssysteme auf der Basis von kunststoffmodifizierten Mörteln schon seit längerem untersucht. Hierfür sind auch bereits einheitliche Anforderungen an die Güte von Instandsetzungssystemen und deren Prüfbarkeit entwickelt worden.

Unter dem besonderen Gesichtspunkt des Brandverhaltens von mit kunststoffmodifizierten Mörteln sanierten Bauteilen liegen bisher keine Erkenntnisse vor.

Mit diesem Forschungsvorhaben werden die nachfolgend genannten Ziele angestrebt:

1. Es sollen erste Erkenntnisse darüber gesammelt werden, ob und unter welchen Bedingungen Mörtel unter Verwendung von Kunststoffzusätzen auch während einer Brandbeanspruchung an sanierten Bauteilen haften bleiben und somit einen Schutz vor zu starker Erwärmung der Bewehrungseinlagen im Brandfall darstellen können.
2. Die Versuchsergebnisse bezüglich des Trag- und Verformungsverhaltens der mit kunststoffmodifizierten Mörteln sanierten Bauteile werden mit dem bekannten Verhalten gleichartiger, nicht sanierter Bauteile verglichen, um gesicherte Aussagen zur Auswirkung der Sanierungsmaßnahmen auf das Brandverhalten zu ermöglichen.
3. Es soll ein Prüfverfahren (Eignungsprüfung) entwickelt werden, das die Entscheidung über die brandschutztechnische Eignung eines Mörtelsystems kostengünstig zuläßt.

3. Putzschicht zur Wiederherstellung der Querschnittsabmessungen

Zur Erzielung bestimmter Feuerwiderstandsdauern von Stahlbetonbauteilen sind in DIN 4102 Teil 4, Ausgabe 3/81, bezüglich des Achsabstandes u der statisch erforderlichen Bewehrung und der Querschnittsabmessungen Mindestwerte festgelegt.

Für nicht ausreichende Achsabstände oder Querschnittsabmessungen kann gemäß DIN 4102 Teil 4, Abschnitt 3.1.5 eine fehlende Betonschicht auch durch eine entsprechend dicke Putzschicht unter Berücksichtigung der dort angegebenen Anforderungen ersetzt werden. Da hier die untersuchten Instandsetzungssysteme den Anforderungen bezüglich des Putzgrundes gemäß DIN 4102 Teil 4, Abschnitt 3.1.5.3 nicht genügen, ist die Brauchbarkeit dieser Systeme mit einem Haftvermittler (Haftbrücke) zwischen Altbeton und Putz gesondert nachzuweisen. Dieser Brauchbarkeitsnachweis kann z.B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erfolgen. Die Beratung einer Zulassung erfolgt durch den Sachverständigenausschuß (SVA) "Brandverhalten von Bauteilen" des Instituts für Bautechnik, Berlin.

Wegen der bisher noch nicht ausreichenden Prüferfahrungen wurden seitens des SVA noch keine Richtlinien für die Durchführung der erforderlichen

Prüfungen erstellt. Die bislang bestehenden Zulassungsbedingungen fordern, daß

1. der Nachweis der Feuerwiderstandsklasse (durch Prüfungen nach DIN 4102 Teil 2) und
2. der Nachweis der ausreichenden Haftfestigkeit des Putzes am Putzgrund (bei Raumtemperatur)

erbracht wird.

Die untersuchten Haftfestigkeiten der Instandsetzungssysteme bei Raumtemperatur (s. Abschnitt 7.5) haben gezeigt, daß die an die Zulassungsbedingungen gebundenen Mindesthaftfestigkeiten bei weitem überschritten worden sind. Des weiteren wurde der Nachweis der Feuerwiderstandsklassen der sanierten Bauteile exemplarisch in den nach DIN 4102 Teil 2 durchgeführten Brandversuchen erbracht.

Die erforderliche Putzdicke als Ersatz für den Achsabstand u oder eine Querschnittsabmessung ist für genormte Putze ohne Putzträger (gemäß DIN 4102 Teil 4 Abschnitt 3.1.5.3) aus der Tabelle 2 von DIN 4102 Teil 4 ersichtlich. Diese dort angegebenen Werte haben sich aus der Wärmeleitfähigkeit und dem Abplatzverhalten der Putze ergeben. Die Wärmeleitfähigkeit von 15 mm Putz der Mörtelgruppe P II oder P IVc ist z.B. wesentlich kleiner (günstiger) als die von 10 mm Normalbeton. Bei Brandbeanspruchung aber platzen im allgemeinen j doch bis zu 50 % des Putzes ab, so daß lediglich die Restdicke in Ansatz gebracht werden kann.

Aus diesem Grunde werden in der Norm 15 mm und nicht rd. 8 mm angegeben, und es wird eine maximal zulässige Putzdicke gefordert.

4. Stand der Erkenntnisse, Auswahl geeigneter Materialien

4.1 Stand der Erkenntnisse

Bei der Oberflächensanierung von Stahlbeton werden heutzutage vorwiegend Spezialmörtel unter Zusatz organischer Bestandteile (Kunststoffe) im Bindemittel angewendet. Durch diese Zusätze wird erreicht, daß

- der Mörtel einwandfrei verarbeitbar und standsicher ist,
- durch rasche Entwicklung der Zugfestigkeit und langsamere Austrocknung die Entwicklung von Schwindrissen im Mörtel weitgehend verhindert wird,
- der Widerstand gegen chemische Angriffe verbessert wird,
- das Verhalten unter Frost-/Tau-Wechselbeanspruchung verbessert wird und
- ein höherer CO₂-Eindringwiderstand entsteht.

Über das Brandverhalten von mit Kunststoff modifizierten Mörteln liegen bislang kaum Erkenntnisse vor, insbesondere ist das Zusammenwirken von Kunststoffen und mineralischen Baustoffen noch weitgehend unklar. Allgemein ist ein thermisch bedingter Abfall der Festigkeit von Kunststoffen bei steigender Temperatur bekannt, der bei ca. 100 °C deutlich spürbar wird und bei ca. 200 °C mit der thermischen Zersetzung der Kunststoffe in gasförmige Bestandteile endet. Die genannten Temperaturen von 100 °C und 200 °C sind nur als grobe Anhaltswerte zu verstehen. Abweichungen sind erklärbar, da sich die einzelnen Kunststoffe bereits in ihren Rezepturen deutlich voneinander unterscheiden können. Unter Brandeinwirkung besteht somit die Gefahr eines Haftverlustes infolge thermischer Zersetzung der Kunststoffe. Ein Abplatzen des Mörtels kann die Folge sein.

Die kunststoffvergüteten Mörtel lassen sich zwei Gruppen zuordnen:

1. Epoxid-Mörtel-Systeme (ECC = Epoxy-Cement-Concrete)

Als Bindemittel wird nahezu ausschließlich Epoxidharz verwendet. Solche Systeme finden ihre Anwendung vorwiegend bei flächenmäßig kleinen Schadstellen im Bereich besonders starker chemischer Eingriffe.

Ein Nachweis der brandschutztechnischen Eignung dieser Art von sanierten Bauteilen ist aber erst dann gesondert zu fordern, wenn die betroffenen Flächen deutlich die üblichen Flickstellengrößen überschreiten. Mit Epoxidharzen gebundene Mörtel werden aus diesem Grunde für die hier erforderlichen Untersuchungen nicht weiter berücksichtigt.

2. Kunststoffvergütete, zementgebundene Mörtel (PCC = Poly-Cement-Concrete)

Bei diesen Mörteln dient vorwiegend der Zement als Bindemittel; unterstützend werden aber Kunststoffe hinzugesetzt, die auch gleichzeitig die Eigenschaften des Baustoffes mitbestimmen. Als Kunststoffzusätze werden beispielhaft genannt:

- Acryl-Dispersionen
- Polymerisat-Dispersionen
- Kunstharze

Diese zementgebundenen Mörtel werden bei der Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen zur Querschnittsergänzung eingesetzt. Dabei ist die sachgerechte Verwendung einer ebenfalls kunststoffvergüteten zementgebundenen Haftbrücke für die Sicherstellung der erforderlichen Hafteigenschaften von großer Bedeutung. Solche Mörtel werden bauteilbezogen in einem Umfang eingesetzt, der eine brandschutztechnische Untersuchung gerechtfertigt erscheinen läßt.

Gegenüber den zuvor erwähnten Epoxid-Mörteln ist bei den kunststoffvergüteten, zementgebundenen Mörteln der Anteil an organischen (also brennbaren) Bestandteilen, die sich schon bei relativ geringen Temperaturen in gasförmige Bestandteile zersetzen können, wesentlich geringer; er liegt im allgemeinen unter 12 %, bezogen auf das Zementgewicht.

4.2 Auswahl geeigneter Materialien

Die Instandsetzung von korrosionsgeschädigten Stahlbetonbauteilen erfordert auf den Grad der Schädigung für jeden Einzelfall abgestimmte Maßnahmen. Die hier zu behandelnden Reparaturmörtel werden erst bei hohen Schädigungsstufen erforderlich, wenn an der Bewehrung selbst bereits Maßnahmen zu ergreifen sind. Infolgedessen werden die Verfüllmörtel stets in Kombination mit anderen Komponenten eines Sanierungssystems verwendet. Aus diesem Grunde ist stets ein komplettes Instandsetzungssystem zu prüfen, da jede Komponente des Systems das Brandverhalten des Mörtels mitbeeinflussen kann.

Die v.g. Anwendungsvielfalt zwingt zu einer Beschränkung auf die zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Mörtel. Vorwiegend werden Mörtel untersucht, die in Handarbeit mit der Kelle verarbeitet werden. Bei den Bauteilversuchen wird ergänzend zum Versuchsprogramm auch eine spritzfähige Variante des Mörtels untersucht.

Da besonderer Wert auf das Abplatzverhalten der Mörtel gelegt wird, sind hier vorwiegend diejenigen Materialkomponenten variiert worden, von denen ein maßgeblicher Einfluß auf die Hafteigenschaften und auf das Abplatzrisiko angenommen wird. Dabei werden die Verfüllmörtel selbst nicht verändert. Da es sich bei diesem Vorhaben um eine Pilotstudie handelt, müssen sich die Untersuchungen auf wenige Reparaturmörtel beschränken.

Die dem Institut bekannten Hersteller der kunststoffmodifizierten, zementgebundenen Mörtel erhielten die Möglichkeit zur Mitarbeit an diesem Forschungsvorhaben. Lediglich zwei Hersteller waren an den erforderlichen Untersuchungen so interessiert, daß sie ihre Materialien zur Verfügung stellten. Sie übernahmen ebenfalls die sachgerechte, praxisnahe Verarbeitung der Materialien. Die beiden Produzenten werden nachfolgend durch die Großbuchstaben I und II gekennzeichnet.

Der standardmäßige Aufbau einer vollständigen Sanierungsmaßnahme wird mit den nachfolgend aufgeführten Arbeitsschritten beschrieben:

1. Reinigung und Aufräumen (Öffnung der Poren) der Betonoberfläche durch Sandstrahlen sowie Entrostung und Reinigung der Bewehrung (Entrostungsgrad SA 2,5 nach DIN 55 928) sowie Entfernen loser, im Haftverbund gestörter Betonteile,
2. Aufbringen eines Korrosionsschutzanstrichs auf die eventuell freiliegenden Bewehrungsstähle,
3. Aufbringen einer Haftbrücke
4. Verfüllen der Betonausbruchstellen mit einer kunststoffvergüteten, zementgebundenen Grobmörtelschicht,

5. Auftragen einer ca. 1 - 2 mm dicken kunststoffvergüteten, zementgebundenen Feinmörtelschicht,
6. Aufbringen eines abschließenden Anstrichs unter Verwendung von siloxanhaltigen, wasserdampfdurchlässigen Flüssigkeiten (Hydrophobierungsmittel), die jedoch das Eindringen von flüssigem Wasser verhindern. Mit zusätzlichen Deckanstrichen meist auf Acrylbasis wird vorwiegend ein höherer CO₂-Eindringwiderstand angestrebt.

4.2.1 Anmachen der Mörtel

Die untersuchten Mörtel (Grob- und Feinmörtel) der Systeme A bis F (s. Abschnitt 5 bzw. 6) sind vom Hersteller I als gebrauchsfertige Trockenmörtel verpackt. Bereits im vorgetrockneten Material sind gewisse Kunststoffe in Pulverform enthalten; diese sogenannten Additive gehören zu der Gruppe der "Ter-Polymerisate".

Die eigentliche Vergütung infolge Kunststoffzugabe erfolgt aber über die Anmachflüssigkeit. Diese wird nach einem bestimmten Mischungsverhältnis aus Wasser und dem als Dispersion vorliegenden Kunststoff - einem Polymerisat - vom Verbraucher gemischt und dem Trockenmörtel zugegeben.

Vom Hersteller wird in den Produktblättern ein bestimmtes Verhältnis von Trockenmörtel : Anmachflüssigkeit angegeben. In der Praxis (und so auch bei der Sanierung der Prüf-Bauteile) richtet sich die tatsächlich zugegebene Menge dieser kunststoffhaltigen Anmachflüssigkeit auch nach den persönlichen Erfahrungen des Anwenders, der so die Konsistenz des Frischmörtels beeinflussen kann und damit in jedem Einzelfall eine sofort standsichere Aufbringung erzielen will. Diese willkürliche Abweichung von dem empfohlenen Standardrezept läßt den Kunststoffanteil des Mörtels um den angestrebten rezeptmäßigen Wert herum schwanken. Insbesondere besteht die Neigung, einmal angemachten Mörtel im Laufe der Arbeitsvorgänge noch einmal durch kleine Zugaben von kunststoffhaltiger Anmachflüssigkeit aufzufrischen.

In der Praxis werden die tatsächlichen Kunststoffanteile im Mörtel wohl eher oberhalb als unterhalb der empfohlenen Rezeptwerte liegen.

Mit dem System G (s. Abschnitt 5 und 6) des Herstellers II wurde zusätzlich ein Mörtel untersucht, dessen Kunststoffvergütung mit Kunstharzen erfolgt. Diese Kunstharze befinden sich bereits vollständig in der gebrauchsfertig gemischten Trockensubstanz, so daß auf der Baustelle nur noch reines Wasser zum Anmachen zugesetzt wird. Bei diesem Mörtel kann das Verhältnis Kunststoff : Zement nicht vom Verbraucher beeinflusst werden.

Parallel zu den kunststoffmodifizierten Systemen sind zum Vergleich bei den Voruntersuchungen (s. Abschnitt 5) des Herstellers II auch Mörtelsysteme ohne jegliche Kunststoffzusätze geprüft worden.

5. Orientierende Vorversuche an Kleinproben

5.1 Allgemeines

Zur generellen Eignung der kunststoffmodifizierten Instandsetzungssysteme wurden Abplatzversuche an unbelasteten Kleinproben durchgeführt. So sollte festgestellt werden, welche Systemvariante für die aufwendigeren Bauteilversuche am geeignetsten erschien.

Die in den Vorversuchen variierten Komponenten der Instandsetzungssysteme sind dem Abschnitt 5.3 zu entnehmen.

5.2 Beschreibung der Versuchskörper

Bei den Versuchskörpern, sogenannte Reprofilierungsplatten (siehe Anlage 1), handelt es sich um quadratische Betonplatten mit den Abmessungen Seitenlänge x Höhe = 30 cm x 7 cm. Darin befinden sich für die nachträgliche Sanierung Aussparungen mit den Abmessungen 20 cm x 20 cm x 2,5 cm. In dieser Aussparung sind in Randnähe zwei Bewehrungsstäbe jeweils zur Hälfte des Querschnitts einbetoniert.

Die Betonoberfläche der zu sanierenden Aussparungen wurden durch Sandstrahlen von Staub und losen Bestandteilen befreit, ebenso auch die Bewehrungsstäbe von Flugrost.

5.3 Beschreibung der unterschiedlichen Sanierungsaufbauten

5.3.1 Sanierungsaufbau Hersteller I

(Polymere als Dispersion im Anmachwasser)

Es wurden insgesamt 18 der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Versuchskörper vom Hersteller I gemäß deren Verarbeitung- und Anwendungsempfehlungen zum gleichen Zeitpunkt saniert. Dabei wurden 8 Versuchskörper jeweils doppelt instandgesetzt.

Der Aufbau der Sanierung und die Variation der Einzelkomponenten ist der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Die Gesamtdicke d der Sanierung betrug ca. 25 mm, die Dicke der Feinmörtelschicht ca. 4 - 5 mm. Bei den Proben A, D, E und F wurde ein Spezialmörtel für die Haftbrücke verwendet, der mit unterschiedlichen Mengen des Polymers modifiziert worden ist. Das Polymer selbst ist nicht verändert worden.

Die Feinmörtel der Proben B, C, D, E und F unterscheiden sich voneinander und von dem "Standardfeinmörtel" durch die Art des verwendeten mineralischen Zuschlags. Die Sieblinie des Feinmörtels blieb durch diese Modifikation unberührt. Die Art der Zuschläge bestimmt jedoch die Porosität der Feinmörtelschicht.

Durch Deckanstriche kann die Austrocknungsgeschwindigkeit der Reparaturmörtel nur herabgesetzt werden. Da das Brandverhalten dieser Anstriche für das Brandverhalten der Mörtel höchstens von untergeordneter Bedeutung sein kann, wird bei den meisten Probekörpern auf einen Deckanstrich verzichtet, um die Austrocknungszeit bis zur Durchführung der Brandversuche möglichst kurz zu halten.

Tabelle 1 Aufbau des Sanierungssystems bei den Vorversuchen
 - Hersteller I -
 (Polymere als Dispersion im Anmachwasser)

Bezeichnung der Ver- suchskörper Hersteller I	Aufbau des Instandsetzungssystems					
	Korrosions- schutz	Haftbrücke	Grobmörtel	Feinmörtel	Deckanstrich	
1 (2 x)	Epoxid-Harz (2maliger Anstrich)	Grobmörtel + Polymer- dispersion	Grobmörtel + Polymer- dispersion	-	-	
3				Feinmörtel + Polymer- dispersion	-	
5 (2 x)					hydrophobierender Deckanstrich (starr)	
7					hydrophobierender Deckanstrich (elastisch)	
A (2 x)		Mineralische Haftbrücke aus Normzementen, min.Zuschlägen + Polymerzusät- zen in Pulver- form		Feinmörtel- Variante *) + Polymer- dispersion	-	
B (2 x)		Grobmörtel + Polymer- dispersion			-	
C (2 x)		Mineralische Haftbrücke aus Normzementen, min.Zuschlägen und Polymer- zusätzen in Pulverform			Feinmörtel- Variante *) + Polymer- dispersion	-
D (2 x)					Feinmörtel- Variante *) + Polymer- dispersion	-
E (2 x)					Feinmörtel- Variante *) + Polymer- dispersion	-
F (2 x)					Feinmörtel- Variante *) + Polymer- dispersion	-

*) Variation des Feinmörtels durch Zugabe von entweder Luftporenbildnern, Fasern oder Leichtzuschlägen

5.3.2 Sanierungsaufbau Hersteller II

(Kunstharz bereits im Trockenmörtel vollständig vorhanden)

Es wurden insgesamt neun der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Versuchskörper vom Hersteller II gemäß deren Verarbeitungs- und Anwendungsempfehlungen zum gleichen Zeitpunkt saniert. Hierbei wurde auch ein Sanierungssystem ohne jeglichen Zusatz von Kunststoffanteilen im Grobmörtel miterstellt.

Die Variation der Einzelkomponenten des Systems wurden vorwiegend beim Feinmörtel durchgeführt, wobei zwei unterschiedliche, kunstharzvergütete Erzeugnisse dieses Herstellers zum Einsatz kamen. Weiterhin wurde die Dicke der Feinmörtelschicht von ca. 1 mm bis 3 mm variiert.

Der Aufbau der Sanierung und die Variation der Einzelkomponenten ist der nachfolgenden Tabelle 2 zu entnehmen.

5.4 Versuchsbeobachtungen

5.4.1 Allgemeines

Die sanierten Versuchskörper wurden im Brandraum jeweils nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) gemäß DIN 4102 Teil 2, Ausgabe 9/77, aufgeheizt.

Bis auf die sanierte Seite wurden alle anderen Seiten des Versuchskörpers durch Wärmedämmplatten bekleidet, um eine möglichst praxisgerechte Brandbeanspruchung zu simulieren. Die Beobachtungen bezüglich des Abplatzverhaltens während der Brandversuche sind den Tabellen 3 bis 5 der nachfolgenden Abschnitte 5.4.2 und 5.4.3 zu entnehmen.

Die Brandraumtemperaturen sind in den Anlagen 14 - 15 graphisch dargestellt.

In den Fotoanlagen F 1 - F 7 sind die Versuchskörper nach der Brandbeanspruchung abgebildet.

Tabelle 2 Aufbau des Sanierungssystems bei den Vorversuchen - Hersteller II
(Kunstharz bereits im Trockenmörtel vollständig vorhanden)

Bezeichnung der Ver- suchskörper Hersteller II	Aufbau des Instandsetzungssystems				
	Korrosions- schutz	Haftbrücke	Grobmörtel	Feinmörtel	Deckanstrich
G 1	Epoxid-Harz (2maliger Anstrich)	Grobmörtel + Kunstharz + Kunstharz- dispersion	Grobmörtel + Kunstharz	-	-
G 2				Feinmörtel mit Kunstharz (d = 1 mm)	
G 3				Feinmörtel mit Kunstharz (d = 3 mm)	
G 4				Feinmörtel mit Kunstharz- Variante (a) (d = 1 mm)	
G 5				Feinmörtel mit Kunstharz- Variante (a) (d = 3 mm)	
G 6			Grobmörtel	-	
G 7			Grobmörtel + Kunstharz	Feinmörtel (d = 3 mm)	
G 8				Feinmörtel mit Kunstharz- Variante (a) (d = 2 mm)	
G 9				Feinmörtel mit Kunstharz (d = 1 mm)	Hydrophobierender Deckanstrich

5.4.2 Versuchsbeobachtungen Hersteller I

Tabelle 3

Zeit (min)	Beobachtungen - Versuchskörper (Hersteller I)					
	1 3.12.1986	1 11.2.1987	3 3.12.1986	5 3.12.1986	5 11.2.1987	7 3.12.1986
3		-	-	Blasenbildung an der gesamten Oberfläche	-	-
4	-	-	-	-	-	ca. 50 % des Feinmörtels platzen ab
5	-	-	-	-	Blasenbildung am Anstrich; ca. 2/3 des Anstriches platzen ab	-
6	-	-	-	Rißbildung am Rand des sanierten Gebietes	-	-
10	-	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-	Schalenförmige Abplatzungen mit geringer Tiefe	-
12	-	-	Rißbildung an der Probe oben rechts	-	-	-
13	-	-	-	-	Abplatzungen reichen bis auf die Bewehrung	-
14	-	-	-	Abplatzung des Anstriches	-	-
15	Explosionsartiges Abplatzen der gesamten Mörtelschicht ohne Ankündigung; der Bewehrungsstahl liegt vollkommen frei	Beginn explosionsartiger Abplatzungen	Explosionsartiges Abplatzen großer Teile der Mörtelschicht	-	-	-
16	-	-	Abplatzungen halten an, bis das sanierte Gebiet fast vollkommen mörtelfrei ist	Großflächiges, explosionsartiges Abplatzen des Mörtels; die Bewehrung liegt frei	-	Abplatzung des Mörtels bis zur Bewehrung; Flammenbildung
17	-	Ende der Abplatzungen; die gesamte Probe ist mörtelfrei	-	-	-	-
18	-	-	-	-	Die gesamte Probe ist frei von Mörtel	-
35				Austritt brennbarer Gase aus den Rissen des verbleibenden Mörtels unter gelber Flammenbildung		Austritt brennbarer Gase aus den Rissen des verbleibenden Mörtels unter gelber Flammenbildung
42	Keine weiteren Veränderungen Ende der Beflammung					

Tabelle 4

Versuchskörper A - C

Zeit (min)	Beobachtungen - Versuchskörper (Hersteller I)					
	A 3.12.1986	A 11.2.1987	B 3.12.1986	B 11.2.1987	C 3.12.1986	C 11.2.1987
8	-	-	-	Geringfügige Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-	-
11	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-	Flammenbildung an der Oberfläche	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche
14	-	-	Flammenbildung an der Oberfläche	-	-	-
18	-	-	-	Flammenbildung kommt zum Erliegen	-	-
22	-	Oberfläche verfärbt sich wieder hell	-	Oberfläche verfärbt sich wieder hell	-	Oberfläche verfärbt sich wieder hell
32	-	-	Flammenbildung aus einem Riß über der Bewehrung	-	-	-
65	Keine weiteren Veränderungen Ende der Beflammung					

Versuchskörper E - F

Zeit (min)	Beobachtungen - Versuchskörper (Hersteller I.)					
	D 3.12.1986	D 11.2.1987	E 3.12.1986	E 11.2.1987	F 3.12.1986	F 11.2.1987
4	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche, Pickelmuster	-	-	-	-	-
5	-	Rißbildung an der Probe unten links	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche
8	Explosionsartige Abplatzung kleiner Splitter (der sanierten Oberfläche)	-	-	-	-	-
9	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-
12	-	Abplatzungen von ca. 2 mm Tiefe	-	-	-	-
14	-	Beginn explosionsartiger Abplatzungen	-	-	-	-
15	Abplatzungen von ca. 20 mm Tiefe	-	-	-	-	Flammenbildung auf der sanierten Oberfläche
17	-	Ende der Abplatzungen, Tiefe: ca. 15 mm	-	-	Rißbildung am Rand der sanierten Oberfläche	Ende der Flammenbildung
20	-	-	-	-	Fortsetzung der Rißbildung	-
35	-	-	-	-	Austritt von brennbaren Gasen aus den Rissen unter Flammenbildung	-
44	Flammenbildung aus einem Riß über der Bewehrung	-	-	-	-	-
65	Keine weiteren Veränderungen Ende der Beflammung					

5.4.3 Versuchsbeobachtungen Hersteller II

Tabelle 5

Zeit (min)	Beobachtungen - Versuchskörper (Hersteller II)								
	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5	G 6	G 7	G 8	G 9
6	-	-	-	-	-	-	-	-	Dunkelfärbung des Anstrichs
8	-	-	Rißbildung durch die ge- sante Probe	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-	-	Dunkelfärbung der sanierten Oberfläche	-
10	-	-	Verbreiterung des Risses	-	-	-	-	Rißbildung in der sanierten Fläche	-
12	Rißbildung am Rand der sanierten Fläche	-	-	Rißbildung am Rand der sanierten Fläche	-	-	-	-	-
14	-	Horizontale Rißbildung im oberen Bereich der Probe	Abplatzung der Feinmörtel- schicht von der Grobmör- telschicht	-	-	-	Rißbildung in der sa- nierten Oberfläche	Breite, verti- kale Rißbil- dung in der Mitte der Probe	-
34	Keine weiteren Veränderungen Ende der Beflammung								

5.5 Erkenntnisse aus den Vorversuchen

5.5.1 Hersteller I: Polymere als Dispersion im Anmachwasser

Zunächst ist festzustellen, daß die Parallel-Probekörper nahezu identische Ergebnisse gezeigt haben. Damit kann als gesichert angenommen werden, daß die Resultate der Versuche weitgehend von zufälligen Einflüssen aus dem Versuchsaufbau und aus der Versuchsdurchführung unabhängig sind und als repräsentativ gelten können.

Die unverändert aus der laufenden Produktion entnommenen Materialien der Proben 1, 3, 5 und 7 versagten einheitlich durch ganzflächige Abplatzungen nach ca. 15 Minuten Brandbeanspruchung. Ohne zusätzliche Maßnahmen kann bei diesem Sanierungssystem kein positives Brandverhalten erwartet werden.

Die mineralischen Haftbrücken der Proben A, B, C, D, E und F führten teilweise zu einer erheblichen Verbesserung der Resultate; insbesondere die Proben A, C und E verhielten sich äußerst günstig. Wegen der gleichzeitigen Veränderung der Komponenten Haftbrücke und Feinmörtel ist die Ursache für diese Verbesserung nicht eindeutig zu erkennen. Es kann aber angenommen werden, daß eine Absenkung des Gehalts an Polymeren bei der Haftbrücke und eine Erhöhung der Porigkeit des Feinmörtels das Brandverhalten des gesamten Sanierungssystems verbessert hat.

Für die weitergehenden Bauteil-Untersuchungen wurde daher die mineralische Haftbrücke, bestehend aus Norm-Zementen, mineralischen Zuschlägen und Polymerzusätzen in Pulverform, angewendet. Der Grob- und Feinmörtel wurde unverändert aus der Produktion entnommen, der Feinmörtel wurde in extrem dünnen Schichten aufgezogen.

5.5.2 Hersteller II: Kunstharze in Trockenmörtel

Abplatzungen traten an keinem der Probekörper auf. Die gebräuchlichsten Materialien aus der laufenden Produktion sollten unverändert für die Bauteilversuche verwendet werden. Offensichtlich hat die beobachtete Bildung von Rissen das Ausdampfen von Feuchtigkeit erleichtert und unterstützt, so daß keine Abplatzungen infolge zu hohen Dampfdruckes innerhalb der Mörtelschicht eingetreten sind.

Bedenken bestanden bezüglich der Haftung an den Unterseiten von Deckenplatten, da die Mörtelschichten teilweise keinen vollflächigen Verbund mehr mit dem Altbeton hatten. Materialveränderungen sollten aber nicht durchgeführt werden.

6. Entwurf, Bemessung und Herstellung der Prüfkörper für die Bauteilversuche

6.1 Allgemeines

Im Gegensatz zu den Vorversuchen gemäß Abschnitt 5 können im sanierten Bereich von tragenden Bauteilen erhebliche Spannungsbeanspruchungen auftreten, die aus den nachfolgend genannten Ursachen resultieren:

- Zum Zeitpunkt der Sanierung und einem konstant angenommenen Lastzustand kann der Mörtelbereich als spannungsfrei angesehen werden.
Infolge von zeitabhängigen Verformungen des Altbetons können aber Spannungsumlagerungen im Querschnitt auftreten, die Spannungen in der Mörtelschicht hervorrufen.
- Durch Belastungsänderungen treten zusätzliche Spannungen auf, wodurch die Mörtelschicht mitwirkend beansprucht wird.
- Bei thermischen Beanspruchungen entstehen Spannungsumlagerungen im Bauteilquerschnitt (Eigenspannungen, thermische Dehnung → Dehnbehinderung → Zwangsschnittgrößen). Von diesen Spannungen ist der Reparaturmörtel wegen seiner exponierten Lage an der Bauteiloberfläche besonders betroffen.

Anhand von bauteiltypischen Versuchskörpern mit praxismgerechten Querschnittsabmessungen und entsprechenden Fehlstellen für die Sanierung im Bereich der maximal statisch beanspruchten Querschnitte sollte die brandschutztechnische Eignung dieser kunststoffmodifizierten Mörtel in Brandversuchen nachgewiesen werden.

Die Fehlstellen wurden beim Herstellen der Bauteile durch in die Schalung eingelegte Styropor-Platten ($d = 25 \text{ mm}$ bei den Plattenstreifen, Stützen und Stützenabschnitten und $d = 30 \text{ mm}$ beim Balken) erzeugt.

6.2 Beschreibung der Bauteile

Für die nachfolgenden Bauteilversuche wurden die in Tabelle 6 beschriebenen Bauteile mit deren Abmessungen, Bewehrung, Betondeckung und der nachträglich aufgetragenen Mörtelschichtdicke hergestellt.

Alle Bauteile wurden bezüglich deren Querschnittsabmessungen und den Achsabständen u der Bewehrung für eine Feuerwiderstandsdauer von "F 90" gemäß DIN 4102 Teil 4, Ausgabe 3/81, ausgelegt.

Tabelle 6

Bauteil	Abmessungen		Bewehrung BSt 420 S BSt 500 M	Oberdeckung der tragenden Längsbewehrung c (mm)	Mörtelschichtdicke nach dem Sandstrahlen der Bauteile (mm)	Bemerkungen
	Querschnitt b/d (cm)	Länge l (cm)				
Stütze 1, 2	30/30	364	BU. \varnothing 8 2 x 3 \varnothing 20	20 + 8 = 28	25 - 30	Stütze 1 Sanierung in überdrückter Zugzone Stütze 2 Sanierung in Druckzone
Stützenabschnitte 1 - 8, 3a	30/30	90	BU. \varnothing 8 2 x 3 \varnothing 20	20 + 8 = 28	25 - 30 allgemein 50 Nr. 3a 50 - 60 Nr. 8, Seite 1 35 - 50 Nr. 8, Seite 2	Stützenabschnitte Nr. 1 - 6 und 3 a mit nur einer zu sanierenden Fehlfächenseite, wobei bei Nr. 5 die zweite Seite mit einem Elektromeißel nachträglich herausgestemmt wurde; Nr. 7 und 8 mit 2 Fehlstellen an 2 gegenüberliegenden Seiten
Plattenstreifen 1 - 5	95/12	230	Steckbü. \varnothing 6 R 131	25 + 6 = 31	25	Sanierung in Zugzone
Balken	20/40	495	BU. \varnothing 8 3 \varnothing 20	30 + 8 = 38	30	Sanierung in der Zugzone

Weitere konstruktive Einzelheiten bezüglich der Bauteilausführung und der Bewehrungsführung sind den Anlagen 5, 8, 9, 11 und 13 zu entnehmen.

6.3 Herstellung und Lagerung der noch nicht sanierten Bauteile

Die Herstellung der Stützen, des Balkens und der Stützenabschnitte 1 bis 6 und 3a erfolgte am 04.09.1986, die der Plattenstreifen am 17.09.1986 und die der Stützenabschnitte 7 - 8 am 10.02.1987.

Für die durchzuführenden Sanierungsarbeiten sollten praxisgerechte "alte" Stahlbetonbauteile vorliegen. Dieser Prozeß wurde durch eine künstliche Alterung der Bauteile durch eine ca. fünfwöchige Lagerung in einer Klimakammer des Instituts mit den Klimadaten von ca. 65 °C und 25 % relativer Luftfeuchte erreicht.

6.4 Angewendete Sanierungssysteme und -arbeiten

6.4.1 Angewendete Sanierungssysteme mit Angabe des Kunststoffanteils bezogen auf das Zementgewicht

Die bei den Bauteilversuchen eingesetzten Sanierungssysteme und deren Aufbau sowie der Kunststoffanteil, bezogen auf das Zementgewicht der jeweiligen Systeme, sind den Tabellen 7.1 bzw. 7.2 zu entnehmen.

Die Zuordnung der unterschiedlichen Sanierungssysteme zu den instandgesetzten Bauteilen ist aus der Tabelle 8 ersichtlich.

6.4.2 Beobachtungen während der Sanierungsarbeiten

6.4.2.1 Allgemeines

Das spritzfähige Sanierungssystem E wurde im Labor des Mörtelherstellers aufgebracht, alle anderen Systeme im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig. Alle Bauteile befanden sich während der Sanierungsarbeiten in der bauteiltypischen Lage, d.h. die Stützen und Stützenabschnitte wurden stehend saniert, während die Sanierung der Plattenstreifen- und Balkenunterseiten in Überkopfarbeit erfolgte.

Tabelle 7.1

Hersteller	Sanierungs-system	Korrosions-schutzanstrich	Aufbau des Sanierungssystems		Feinmörtel	Deckanstrich
			Haftbrücke	Grobmörtel		
I	A	Epoxid-Harz (2 x)	Grobmörtel + Polymer-dispersion	Grobmörtel + Polymerdisper-sion	Feinmörtel + Polymer-dispersion	Hydrophobierung + Deckanstrich (starr)
	B *)		Mineralische Haftbrücke aus Normzemen-ten, minerali-schen Zuschlä-ge + Polymer-zusätzen in Pulverform			
	C *) **)					
	D		Grobmörtel + Polymerdisper-sion (doppelte Menge Kunststoff)			
	E		-	aufgespritzter kunststoffmodifi-zierter Spritz-mörtel		
	F *)		s. B - D	Grobmörtel + Polymer-dispersion		
II	G	Epoxid-harz (2 x)	Grobmörtel mit Kunstharz + Kunstharz-dispersion	Grobmörtel mit Kunstharz	Feinmörtel mit Kunstharz	Grundierung + Endanstrich

*) Vor dem Aufbringen der Haftbrücke wurde die Altbetonfläche ca. 2 Std. mit dem Quast feucht gehalten.

**) Die Rezeptur der Systeme B, C und F sind identisch und unterscheiden sich nur in der Art der Verarbeitung.

Tabelle 7.2

Hersteller	System	Kunststoffanteil *) bezogen auf das Zementgewicht bzw. Bindemittel (Gew.-%)		
		Haftbrücke	Grobmörtel	Feinmörtel
I **)	A	~ 20	~ 12	~ 11
	B, C, F	~ 7	~ 12	~ 11
	D	~ 7	~ 24	~ 11
	E (Spritzmörtel)	-	~ 11	~ 11
II	G	~ 21	~ 7	~ 11

*) In den lt. Hersteller angegebenen Kunststoffanteilen, bezogen auf das Zementgewicht sind die zusätzlich zugesetzten Additive (Beschleuniger, Härter und Füllstoffe) nicht enthalten.

**) Kunststoff: Co-Polymer, Styrobutadien

Tabelle 8

Bauteil		Sanierungssystem	Hersteller
Stützen	1, 2	B	I
Stützen- abschnitt	1	D	I
	2	B	I
	3	A	I
	4	C	I
	5	G	II
	6	E	I
	7	G	II
	8 ¹⁾	F	I
	3a ¹⁾ Nach- versuch	F	I
Platten- streifen	1	G	II
	2	B	I
	3	G	II
	4	B	I
	5	E	I
Balken		B	I

- 1) Aufgrund der zusätzlichen Vertiefung und Aufrauhung der Fehlstellen mit einem Elektromeißel betrug die Mörtelschichtdicke bei Stützenabschnitt 8 auf Seite 1 ca. 50 - 60 mm und auf Seite 2 ca. 35 - 50 mm und bei Stützenabschnitt 3a ca. 50 mm.

Nach Beendigung der Sanierungsarbeiten wurden die Bauteile mehr als vier Wochen in ihrer Lage belassen, um den sich aufbauenden Haftverbund zwischen Altbeton und Reparaturmörtel nicht zu schwächen.

Der Korrosionsschutz (zweimaliger Epoxidharz-Ansrich) erfolgte bei allen Systemen mit einem schmalen Pinsel ausschließlich auf der Bewehrung.

6.4.2.2 Beobachtungen beim Aufbringen der Sanierungssysteme A, B, C, D

Die Sanierung der v.g. Systeme wurde in der 3. KW 1987 durchgeführt. Der Grobmörtel, der in zwei bis drei Lagen nacheinander aufgebracht wurde, füllte die Fehlstellen vollständig aus, so daß der anschließend aufzubringende Feinmörtel mit einer Dicke von ca. 1 - 2 mm über dem Niveau der "unbeschädigten" Oberfläche lag.

Zwischen der ersten und der zweiten Grobmörtellage wurde bei den Plattenstreifen und dem Balken ca. eine Viertelstunde gewartet, bei den Stützen und Stützenabschnitten ca. 1,5 Stunden. Bei der Wartezeit von 1,5 Stunden konnten daher schon Abbindereaktionen der 1. Lage stattfinden. Die 3. Lage wurde auf bereits erhärtetes Material aufgebracht.

In der 5. KW '87 erfolgte zunächst die Hydrophobierung mit einem Pinsel, danach die Grundierung und mit einem sechsstündigen Abstand der Versiegelungsanstrich mit einer Rolle.

6.4.2.3 Beobachtungen beim Aufbringen des Sanierungssystems E

Die Instandsetzung des Sanierungssystems E erfolgte bei dem Plattenstreifen Nr. 5 und dem Stützenabschnitt Nr. 6 in der 4. KW '87 im Labor des Mörtelherstellers.

Auf die vorgemäßen Flächen wurde der spritzfähige Grobmörtel im Naßstromverfahren (mit einer Kolbenpumpe "Putzmeister P 13") aufgebracht. Die Arbeiten im Überkopf-Bereich erfolgten in zwei Arbeitsgängen, während die lotrechte Fläche des Stützenabschnitts mit einer Lage vermörtelt werden konnte. Die Wartezeit zwischen den zwei Arbeitsgängen bei dem Plattenstreifen betrug ca. 15 Minuten.

Wichtig für die Beurteilung der bei den Brandversuchen beobachteten Abplatzungen des Plattenstreifens ist, daß der Stützenabschnitt vom Mörtelstrahl rechtwinklig getroffen wurde, während der Mörtelstrahl auf die Plattenunterseite erst durch eine Umlenkdüse rechtwinklig nach oben, der Schwerkraft entgegengerichtet, auf das Bauteil traf. Der dadurch bedingte Energieverlust hatte eine verminderte Haftung zur Folge.

Nach dem Aufspritzen wurden die Flächen mit einem Reibebrett abgerieben.

Nach ca. 24 Stunden wurde dann ein ca. 2 - 3 mm dicker spritzfähiger Feinmörtel in einem Arbeitsgang (mit einer Schwedenpumpe, Typ "Sprayboy" der Firma Putzmeister) aufgebracht.

Eine weitere Woche später erfolgte an vier aufeinanderfolgenden Tagen der Schutzanstrich, der aus der Hydrophobierung der Versiegelung und dem zweimaligen Deckenanstrich bestand.

6.4.2.4 Beobachtungen beim Aufbringen des Sanierungssystems F (Nachversuch)

Um einen Einfluß auf das Abplatzverhalten bezüglich der Technik des Aufbringens der Mörtel festzustellen, wurden zwei weitere zusätzliche Stützenabschnitte in der 32. KW 1987 saniert. Die Rezeptur des Systems F war identisch mit den Systemen B und C und unterschied sich lediglich in der Wartezeit zwischen den einzelnen Lagen beim Aufbringen der Mörtel.

Die Wartezeit zwischen den einzelnen Lagen betrug hier ca. 10 - 15 min, so daß in der unteren Lage noch keine Abbindereaktion hatte stattfinden können. Die Verarbeitung erfolgte also "frisch in frisch".

6.4.2.5 Beobachtungen beim Aufbringen des Sanierungssystems G

Die Instandsetzung mit diesem Sanierungssystem erfolgte in der 13. KW '87. Die Bauteile wurden zunächst mit klarem Wasser vorgeätzt. Nach einer etwa 30minütigen Wartezeit wurde dann die Haftschrämme, bestehend aus dem Gemisch von 25 GT Grobmörtel und 5,5 GT Haftdispersion mit einem dicken Pinsel aufgetragen. Hierbei wurde ein starkes Saugen der Bauteile beobachtet.

Unmittelbar danach wurde der Grobmörtel, der aus einem Gemisch von 3 l Wasser und 25 kg Grobmörtel bestand, "frisch in frisch" verarbeitet. Die erste Lage von ca. 15 bis 20 mm Dicke wurde als Kellenbewurf aufgetragen. Nach ca. einer Stunde wurde die zweite Lage (neue Mischung) mit einem Glätter aufgezogen. Nach weiteren 24 Stunden wurde der ca. 2 mm dicke Feinmörtel, bestehend aus einem Gemisch von 4,5 l Wasser und 25 kg Feinmörtel, ebenfalls mit einem Glätter aufgezogen.

Die Grundierung und der zweimalige Endanstrich erfolgten ca. eine Woche später an drei aufeinanderfolgenden Tagen.

7. Materialuntersuchungen

7.1 Allgemeines

Für die Ermittlung der Versuchslast anhand der tatsächlichen Materialkennwerte wurden entsprechende Materialuntersuchungen an Betonprobewürfeln und Betonstahlproben vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Abschnitten 7.2 und 7.3 zusammengefaßt.

Zur Festlegung der frühestmöglichen Versuchstermine wurden zur Vermeidung von vorzeitigen Abplatzererscheinungen infolge einer noch nicht ausreichenden Austrocknung der Mörtel Feuchtemessungen durchgeführt, die dem Abschnitt 7.4 zu entnehmen sind.

Des Weiteren wurden die Haftzugfestigkeiten der Mörtel, an die in Anlehnung an die Zulassungsbedingungen des Sachverständigenausschusses (SVA) "Brandverhalten von Bauteilen" gewisse Mindesthaftfestigkeiten gefordert werden, sowie die Porosität des Mörtels und des Betons, die als charakteristische Kenngröße für die Dichtigkeit bzw. Durchlässigkeit eines Materials anzusehen ist, untersucht.

7.2 Betonfestigkeiten

Zur Ermittlung der aktuellen Betonfestigkeiten wurden zum Zeitpunkt der Betonage der Bauteile jeweils 9 Probewürfel mit einer Kantenlänge von 20 cm hergestellt.

Diese Probewürfel wurden entsprechend bis zur jeweiligen Versuchsdurchführung gelagert und unmittelbar davor bis zur Bruchlast abgedrückt.

Aus den ermittelten mittleren Würfeldruckfestigkeiten $B_{W,M}$ wurden dann zur Berechnung der Gebrauchslasten für das jeweilige Bauteil die Rechenwerte der Betonfestigkeit B_R in Anlehnung an DIN 1045, Tab. 12, nach der folgenden Formel ermittelt:

$$B_R = B_{W,M} \cdot [0,70 - 0,005 \cdot (B_{W,M} - 25)] \quad [\text{N/mm}^2]$$

Die mittleren Würfeldruckfestigkeiten $B_{W,M}$ und die Rechenwerte der Betonfestigkeit B_R zum Versuchszeitpunkt sind in der anschließenden Tabelle 9 für die entsprechenden Bauteile dargestellt.

Tabelle 9

Bauteil	mittl. Würfeldruckfestigkeit $\beta_{W,M}$ (N/mm ²)	Rechenwerte der Betonfestigkeit β_R (N/mm ²)
Stützen	49,4	28,55
Stützenabschnitte	49,4	28,55
Plattenstreifen	42,8	26,13
Balken	49,4	28,55

7.3 Betonstahlfestigkeiten

Die Betonstahlfestigkeiten der in den Bauteilen eingebauten Bewehrung wurden in Zugversuchen an jeweils drei aus gleicher Stahlcharge entnommenen Proben ermittelt.

Die hier ermittelten mittleren Kennwerte sind in der folgenden Tabelle 10 wiedergegeben.

Tabelle 10

Bauteil	\varnothing (mm)	β_s bzw. $\beta_{0,2}$ (N/mm ²)	β_z (N/mm ²)
Stützen	20	500	671
Stützen- abschnitte	20	498	667
Platten- streifen	5	632	659
Balken	8 20	482 498	593 669

7.4 Mörtelfeuchtigkeit

Zur Ermittlung von realistischen Mörtelfeuchtigkeiten wurden diese Messungen aufgrund auch einer Feuchtwanderung vom Mörtel in den Altbeton am sanierten Bauteil selbst bestimmt. Dieses erfolgte durch Herausstemmen von Mörtelstücken mit Hammer und Meißel aus der Sanierungsrandfläche, an denen dann durch Gewichtsvergleich vor und nach einer Trocknung im Klimaschrank bei einer Temperatur von 105 °C die Feuchtigkeit in Gew.-% ermittelt wurde.

Die durch diese Materialentnahme entstandenen Fehlstellen wurden durch einen Mörtel, bestehend aus Gips, Kalk und Vermitecta, wieder verschlossen.

Der Feuchtigkeitsgehalt in Gew.-% der jeweiligen Bauteile ist aus der anschließenden Tabelle 11 zu ersehen.

Tabelle 11

Entnahme- datum	Bauteil	Feuchtigkeit (Gew.-%)
13.04.1987	Plattenstreifen 2	3,67
04.05.1987	Plattenstreifen 2	3,40
20.05.1987	Plattenstreifen 2	3,13
01.06.1987	Plattenstreifen 4	3,25
01.06.1987	Plattenstreifen 5	2,52
12.06.1987	Stütze 1	3,18
12.06.1987	Stütze 2	3,27
12.06.1987	Stützenabschnitt 1	3,34
12.06.1987	Stützenabschnitt 2	3,66
25.06.1987	Stützenabschnitt 2	3,49
12.06.1987	Stützenabschnitt 3	3,53
12.06.1987	Stützenabschnitt 4	3,52
25.06.1987	Stützenabschnitt 4	3,53
12.06.1987	Stützenabschnitt 6	2,72

An dem Stützenabschnitt 8 (Schichtdicke ≥ 50 mm) wurde ca. 6 Monate nach Instandsetzung an trocken mit Preßluft gebohrten Kernen aus der Mitte der Sanierungsfläche die Feuchtigkeit gemessen. Die so gezogenen Kerne wurden in ihrer Länge in drei Teile geteilt und getrennt ausgewertet, um so Aussagen bezüglich der Feuchteverteilung über die Bohrkernlänge zu bekommen. Hierbei ergaben sich die in der Tabelle 12 aufgeführten Feuchtigkeitswerte.

Tabelle 12

Stützenabschnitt 8 Entnahmedatum: 11.03.1988	Feuchtigkeitsgehalt (Gew.-%)		
	außen	Mitte	innen (am Betongrund)
Seite 1	4,20	5,85	6,25
Seite 2	4,1	6,6	7,7

Diese gegenüber Tabelle 11 höheren Feuchtigkeiten sind aufgrund der größeren Mörtelschichtdicke und der Entnahme der Proben aus der Mitte der Sanierungsfläche zu erklären.

7.5 Haftzugfestigkeit

Zur Überprüfung der in Anlehnung an die Zulassungsbedingungen des SVA "Brandverhalten von Bauteilen" geforderten Mindesthaftfestigkeiten wurden diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt.

Tabelle 13

Proben-Nr.	verwendeter Kleber	Haftfestigkeit (N/mm ²)	Abriß im
1	Röhm	2,09	Beton
2		1,02	Mörtel
3	Krautol	1,51	Beton
4		1,32	Mörtel
5		1,32	
6		1,51	
Mittel	Röhm-Kleber:	1,55	
	Krautol-Kleber:	1,42	
	Gesamt:	1,46	

Die Haftfestigkeiten der Sanierungssysteme wurden exemplarisch am Plattenstreifen Nr. 4 ermittelt. Dafür wurden sechs kreisförmige Schlitzte (max ϕ = 50 mm) bis in den Altbeton eingefräst.

Nach dem Abschleifen der Feinmörtelschicht wurden die Stempel des Haftzuggerätes auf den Grobmörtel sowohl mit Röhm-Kleber als auch mit Krautol-Kleber aufgeklebt. Nach ca. zwölfstündiger Wartezeit ergab die Haftzugprüfung Abrisse sowohl im Grobmörtel als auch im Beton (siehe auch Fotoanlage F 8 - F 9). Die gemessenen Werte sind in der vorstehenden Tabelle 13 wiedergegeben.

Aus den in der v.g. Tabelle erzielten Ergebnissen, die auf den durch Sandstrahlen aufgerauhten Putzgrund zurückzuführen sind, ist ersichtlich, daß die Mindesthaftwerte der Zulassungsbedingungen des SVA "Brandverhalten von Bauteilen" (orientierender Richtwert $\approx 0,05 \text{ N/mm}^2$) bei weitem überschritten worden sind.

7.6 Porosität

Anhand eines Quecksilberporosimetrie-Versuches wurde quantitativ, bezogen auf den Meßbereich, die Porosität des Betons und des Mörtel vom Hersteller I untersucht. Hierbei wird vorwiegend die Kapillarporosität des Zementsteins, aber auch die der Verbundzone und der Risse gemessen. Es werden dabei das spezifische Porenvolumen V , das als direkt gemessene "verschwundene Quecksilbermenge" bezeichnet werden kann, und die spezifische Oberfläche S , die aus den Meßgrößen Porenvolumen und Porenradius annähernd berechnet wird, ermittelt.

Eine für das vorliegende Porensystem charakteristische Größe, die seine Durchlässigkeit beschreibt, ist der "hydraulische Radius" r_h . Er läßt sich wie folgt definieren:

$$r_h = 2 \cdot V/S$$

Dieser Definition liegt die Vorstellung zugrunde, daß das vorliegende Porensystem durch eine zylindrische Pore mit dem Radius r_h beschrieben wird.

Zur Ermittlung der v.g. erforderlichen Werte wurden im nichtsanieren Betonbereich und im Sanierungsbereich Zylinder mit einem Durchmesser von 10 mm herausgebohrt.

Dabei ergaben sich für den hydraulischen Radius r_h folgende in der Tabelle 14 aufgeführten Werte.

Tabelle 14

Probe	Hydraulischer Radius r_h (nm)		
	min	max	Mittel
Grobmörtel + Feinmörtel - Hersteller I -	18,1	30,1	24,0
<u>Beton</u> *) in Tiefe von			
1 cm	47,5	51,3	49,4
2 cm	37,3	55,1	46,2
3 cm	34,1	36,9	35,4

*) Bei den Ergebnissen des Betons ist zu berücksichtigen, daß aufgrund der künstlichen Alterung bei ca. 65 °C der Beton hier eine höhere Porosität (ca. 15 - 20 %) gegenüber einem unter Normaltemperatur gelagerten Beton aufweisen kann.

Bei der Gegenüberstellung der hydraulischen Radien vom Beton und Mörtel ist zu ersehen, daß die Durchlässigkeit des Betons, auch unter Berücksichtigung der künstlichen Alterung, größer ist als die des Mörtels; die geringe Durchlässigkeit des Mörtels des Herstellers I scheint somit Ursache für großflächige Abplatzungen beim Entwässern des Altbetons unter thermischer Beanspruchung zu sein.

Die Brandversuche mit dem Mörtel des Herstellers II zeigten keine nennenswerten Abplatzungen, weswegen auch keine Porositätsuntersuchungen durchgeführt wurden. Es kann angenommen werden, daß die Porosität des Mörtels zur Entlastung gegenüber dem Dampf- bzw. Gasdruck ausreicht.

8. Versuchsaufbau und -durchführung

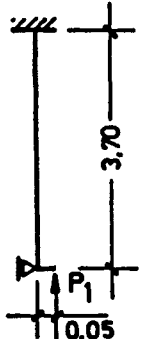
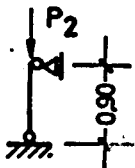
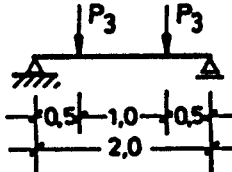
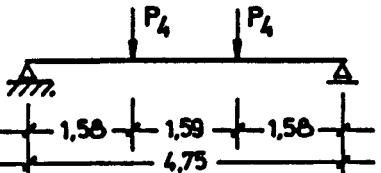
8.1 Allgemeines

Der brandschutztechnische Nachweis der Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 Teil 2 ist für tragende Bauteile unter ihrer zulässigen Last bei praxismäßigem Einbau (Lagerung) und praxismäßiger Ausführung zu führen. Die Belastung ist während des Brandversuchs konstant zu halten, und die Bauteile sind so in den Prüfstand einzubauen, daß sich Verformungen entsprechend dem statischen System einstellen können.

Die zulässigen Lasten im Kaltzustand wurden nach den für die betreffenden Bauteile gültigen Bemessungs- und Konstruktionsvorschriften - hier DIN 1045 - unter Zugrundelegung des tatsächlichen Bauteilwiderstandes bei Verwendung der zum Versuchszeitpunkt aktuell gemessenen Materialkennwerte (s. Abschnitt 7.2 und 7.3) und der Lagerungsbedingungen, die bei den Brandversuchen vorliegen, ermittelt.

In der anschließenden Tabelle 15 sind alle durchgeführten Bauteilversuche hinsichtlich der statischen Systeme mit deren Lagerungsverhältnissen und Lastenleitungen aufgeführt.

Tabelle 15

Bauteil		Querschnittswerte h/d (cm)	statisches System mit Belastung	Materialkennwerte σ_R σ_S (N/mm ²)		Brandbeanspruchung	Bemerkungen
Stütze	1	30/30		28,55	500	4-seitig	<u>Stütze 1:</u> Sanierung in der überdrückten Zugzone <u>Stütze 2:</u> Sanierung in der Druckzone
	2						
Stützenabschnitte 1 - 8, 3a		30/30		28,55	498	4-seitig	Sanierung in der Druckzone
Plattenstreifen 1 - 5		95/12		26,13	632	1-seitig	Sanierung in der Zugzone
Balken		20/40		28,55	498	3-seitig	Sanierung in der Zugzone

8.2 Versuchsaufbau und -durchführung der Brandversuche

8.2.1 Allgemeines

Der Versuchsaufbau für die jeweiligen Versuchskörper sowie die Anordnung der Temperaturmeßstellen im Bauteil sind den entsprechenden Anlagen 2 - 13 zu entnehmen. Die Brandprüfungen wurden in für die Bauteile geeigneten Brandhäusern des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt. Der Brandraum wurde jeweils nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) gemäß DIN 4102 Teil 2, Ausgabe 9/77 aufgeheizt. Die gemessenen Brandraumtemperaturen, die Temperaturerhöhungen der Stahleinlagen im Bauteil sowie die Verformungen der Bauteile sind in den Anlagen 16 - 68 graphisch dargestellt.

Die Versuche wurden beendet, wenn entweder das Ausmaß der Mörtelabplatzungen so groß war, daß der Betongrund und somit die Bewehrung großflächig freilag oder aber die geplante Versuchsdauer von 90 min mit Sicherheit überschritten wurde.

Die Beobachtungen während der Brandversuche sind für die jeweiligen Bauteile in den folgenden Abschnitten 8.2.2 - 8.2.5 tabellarisch aufgeführt.

In Tabelle 16 wurden die Ergebnisse der Brandversuche an zwei je 3,70 m langen Stahlbetonstützen zusammengefaßt.

Tabelle 17 enthält die Ergebnisse der Versuche an belasteten Stützenstummeln, je 0,9 m lang.

Die Tabellen 18 und 19 betreffen Plattenstreifen bzw. Balken.

8.2.2 Versuchsbeobachtungen Stützen

Tabelle 16

Versuchsdauer (min)	Beobachtungen Stütze-Nr.	
	1 - 22.06.1987	2 - 01.07.1987
2	-	Blasenbildung am oberen und unteren Rand der mit Mörtel sanierten Fehlfläche
3	Blasenbildung unter plötzlichem Aufbeulen am oberen und unteren Rand der mit Mörtel sanierten Fehlfläche	Weiterhin Blasenbildung inmit-ten der Sanierungsfläche
10	-	Explosionsartige <u>Abplatzung</u> der äußeren Lage im oberen Bereich der Mörtelschicht mit der Trennfläche zwischen den zwei Auf-tragsschichtdicken
12	Trennrißbildung zwischen Beton und Mörtel und Austritt von Flammen im Bereich der Kanten	Austritt von Flammen im Bereich der Kanten sowie weitere explo-sionsartige splitterförmige Ab-platzungen
14	Großflächige Abplatzung der äußeren Lage der in zwei Arbeits-gängen aufgetragenen Mörtel-schicht	Weitere explosionsartige Abplat-zungen legen zwei Bügel frei, größere Mörtelscholle löst sich vom Betongrund ab
15	Weitere splitterförmige Abplat-zungen	Flammenbildung aus der gesamten Oberfläche heraus
17	Bügel sind freigelegt und teil-weise Abplatzungen bis auf den Betongrund	Trennrißbildung im oberen Be-reich zwischen Beton und Mörtel
30	-	Größere Mörtelscholle fällt ganz-flächig ab
31	Ende der Beflammung	-
51	-	Ende der Beflammung

In den Fotoanlagen F 10 - F 11 sind die Stützen während und nach der Brandbean-spruchung abgebildet.

Tabelle 17

Prüf- dauer (min)	Beobachtungen Stützenabschnitt-Nr.								
	1 - 22.06.1987	2 - 26.06.1987	3 - 23.06.1987	3a - 08.12.1987 (Nachversuch)	4 - 29.06.1987	5 - 09.12.1987	6 - 25.06.1987	7 - 10.12.1987	8 - 23.03.1988 (Nachversuch)
1	Blasenbildung im Sanierungs-bereich (Ø ca. 2 cm)	Blasenbildung im Sanierungs-bereich (Ø ca. 1 cm)	Blasenbildung im Sanierungs-bereich (Ø ca. 3 cm)	Abplatzungen des Feinmörtels (Ø ca. 1 cm)	Blasenbildung im gesamten Be-reich der Ver-mörtelung; An-strich verfärbt sich dunkel	Abplatzungen der Feinmörtel-schicht	Abplatzungen der Feinmörtel-schicht (Ø ca. 5 cm); Rißbil-dung über einem Bügel	-	Seite 8.2: Blasenbildung
2	Kantenabplat-zungen des Fein-mörtels im Be-reich der Flamm-nachschon	-	Dunkelfärbung des Anstriches	-	-	Weitere Abplat-zungen der Feinmörtel-schicht	-	Bildung von ver-tikalen Rissen im oberen Be-reich der Ver-mörtelung	Seite 8.1: Fein-mörtelabplatzun-gen (Ø ca. 4 cm)
4	-	Dunkelfärbung des Anstriches	-	Grobmörtelab-platzungen bis zu einer Tiefe von ca. 5 mm	-	-	-	-	-
6	Kantenabplat-zungen im Be-reich des Grob-mörtels	Blasen reißen auf	Abplatzung von ca. der Hälfte der Sanierungs-fläche mit einer dicke von ca. 10 - 15 mm (glatte Trennfläche; entspricht genau einer Auftrags-lage)	-	-	-	-	Mörtel klappt an der oberen Begrenzung der Sanierung als komplette Schei-be vom Stützen-abschnitt weg	Wasseraustritt aus der nicht-saniereten Beton-oberfläche
10	Weitere Grob-mörtelabplat-zungen; Bügel sind sichtbar	-	Explosionsartige Abplatzungen bis auf den Beton-grund im unteren Bereich der Ver-mörtelung	-	Abplatzung einer Grobmör-telschicht von ca. 15 mm Dicke (glatte Trenn-fläche entspr. genau der zwei-ten Auftrags-lage)	-	-	Bildung eines durchgehenden Querrisses im Beton oberhalb des sanierten Bereiches	Seite 8.1: Groß-flächige Abplat-zung einer ca. 1 m dicken Grob-mörtelschicht auf gesamter Stützenbreite u. einer Höhe von ca. 40 cm
12	-	-	Weitere Abplat-zungen; Bügel liegen frei	Weitere splitter-förmigen Abplat-zungen im Kanten-bereich mit einer Dicke von ca. 5 mm	-	-	-	Auf beiden Seiten der Sanierung fällt der Mörtel als Scheibe voll-flächlich ab; un-mittelbar da-nach knicken d. Längsbewehrungs-stäbe aus, und kurz darauf er-folgt das voll-ständige Druck-versagen des Stützenabschnittes Ende der Beflämmung	Seite 8.1: Wei-tere Abplatzun-gen
15	Weiterhin groß-flächige Grob-mörtelabplatzun-gen bis auf den Betongrund	-	-	Weiterhin Abplat-zungen (Dicke ca. 5 mm)	Weitere explo-sionsartige Abplatzungen bis auf den Betongrund; ein Bügel liegt frei	-	-	-	Seite 8.1: Ex-plosionsartige Abplatzungen führen zum Frei-legen eines Bü-gels
18	Ende der Be-flämmung	-	Ende der Be-flämmung	-	-	-	-	-	Seite 8.1: Wei-tere explosions-artige Abplat-zungen

8.2.3 Versuchsbeobachtungen Stützenabschnitte

22	-	Geringfügiger Wasseraustritt aus der nicht sanierten Betonoberfläche	-	Breite Rißbildung über einem Bügel, weiterhin Abplatzungen	Flammenbildung im Kantenbereich über einem Längseisen	-	Aus dem restlichen Feinmörtel treten brennbare Gase unter gelber Flammenbildung aus	-	Seite 8.1: Zwei Längseisen liegen auf einer Höhe von ca. 10 - 15 cm frei; Brenner auf Seite 8.1 wird ausgeschaltet
26	-	-	-	Weitere Abplatzungen im gesamten Mörtelbereich; ein Bügel und zwei Längsstäbe der Bewehrung liegen frei	Flammenbildung verstärkt sich	-	-	-	-
30	-	Im Mörtel bildet sich ein kleiner Riß, aus dem brennbare Gase unter Flammenbildung aus treten	-	Ende der Be-flammung	Flammenbildung nur noch schwach vorhanden	-	-	-	Last wird auf 1/3 der zul. Gebrauchslast reduziert
45	-	-	-	-	-	Rißbildung im Beton unterhalb der vermörtelten Fehlstelle	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	Flammenbildung beendet	-	-
60	-	-	-	-	Ende der Be-flammung	-	-	-	-
80	-	Erneute Flammenbildung aus dem Riß	-	-	-	-	-	-	Seite 8.2: Rißbildung über d. Längsbewehrung mit Austritt v. brennbaren Gasen unter Flammenbildung
92	-	-	-	-	-	Ende der Be-flammung	Ende der Be-flammung	-	-
Ab- kühl- phase	-	Während des Brandversuchs erfolgten weder beim Anstrich noch beim Fein- oder Grobmörtel Abplatzungen. Eine Stunde nach Versuchsende wies der Mörtel einen noch guten Haftverbund zum Altbeton auf. Nach dem vollständigen Erkalten (29.6.87) stand die komplette Mörtelscheibe ohne weiteren Haftverbund zum Altbeton vor dem Bauteil!	-	-	-	Nach dem Abkühlen stand die Grobmörtelschicht als massive Scheibe ohne flächige Haftverbindung auf der angeschrägten Kante des Stützenabschnittes	In der Fuge zwischen Mörtel u. Betongrund hatte sich ein durchgehender Riß gebildet. Eine Stunde nach der Prüfung war der gesamte Grobmörtel abgefallen.	-	-
Zu- satz- bemerkungen	-	-	-	-	-	-	-	Aufgrund von zu lang ausgeführten Bewehrungsstäben erfolgte die Lasteinleitung unmittelbar in diese, ohne den Beton daran zu beteiligen. *)	Aufgrund von ebenfalls zu lang ausgeführten Bewehrungsstäben wurde der Stützenabschnitt nur mit ca. 2/3 der zul. Gebrauchslast belastet.

*) Dieses führte zu einem frühzeitigen Ausweichen der Längsbewehrungsstäbe und zum vollständigen Versagen des Stützenabschnittes und damit verbunden zum Abfallen der Mörtelschicht. Der Abfall der Mörtelschicht ist also nicht auf das Versagen des Instandsetzungssystems zurückzuführen. Zur Beurteilung des Reparaturmörtels kann dieser Versuch daher nicht herangezogen werden.

In den Fotoanlagen F 13 - F 16 sind die Stützenabschnitte nach der Brandbeanspruchung dargestellt.

8.2.4 Versuchsbeobachtungen Plattenstreifen

Tabelle 18

Versuchsdauer (min)	Beobachtungen Plattenstreifen-Nr.				
	1 - 1.12.1987	2 - 27.05.1987	3 - 3.12.1987	4 - 03.06.1987	5 - 01.06.1987
2	Feinmörtelabplatzung in Feldmitte (\varnothing ca. 4 cm)	-	-	-	Rißbildung im Mörtelbereich quer zur Tragrichtung; Abplatzungen von Feinmörtelstücken (\varnothing ca. 10 cm)
5	-	-	-	Blasenbildung auf der Feinmörteloberfläche (\varnothing ca. 12 cm); Blasen reißen unmittelbar danach auf	-
10	Rißbildung im Mörtelbereich quer zur Tragrichtung	-	Rißbildung im Mörtelbereich quer zur Tragrichtung	Abplatzungen kleinerer Feinmörtelstücke	-
15	Bildung bräunlicher Flecken an der Mörteloberfläche	Blasenbildung auf der Feinmörteloberfläche (\varnothing ca. 15 cm); Blasen reißen unmittelbar danach auf	-	-	Größere explosionsartige Abplatzungen bis auf den Betongrund
18	Die Rißbreiten im Mörtel zeichnen sich schwarz von der Oberfläche ab	-	Die Rißbreiten im Mörtel zeichnen sich schwarz von der Oberfläche ab	-	Plattenstreifen wird entlastet; weitere explosionsartige Abplatzungen, Steckbügel liegen frei
38	-	Abfallen von Feinmörtelstücken im Bereich der aufgerissenen Blasen	-	-	Ende der Beflammung
50	-	Rißbildung im Mörtelbereich quer zur Tragrichtung	-	-	-
80	-	-	-	Rißbildung in Feldmitte quer zur Tragrichtung	-
95	-	-	Keine weiteren Veränderungen; Ende der Beflammung	Riß hat sich etwa bis zur Hälfte der Querschnittshöhe ausgebildet	-
113	-	-	-	Plattenstreifen wird entlastet; Rißbreite ca. 1 cm	-
122	Keine weiteren Veränderungen; Ende der Beflammung	Ende der Beflammung	-	Ende der Beflammung	-
Abkühlphase	Während der Abkühlphase löste sich im Bereich starker und kühler Luftströmung infolge des Gebläses ein zusammenhängender Teil der Mörtelschicht ab	-	siehe Plattenstreifen Nr. 1	-	-
Zusatzbemerkungen	Der Plattenstreifen 1 wurde bei zwei weiteren Brandversuchen von je 90 min Branddauer erneut nach der ETK beflammt. Es lösten sich hierbei keine weiteren Teile vom Plattenstreifen ab.	-	-	-	-

In den Fotoanlagen F 18 - F 20 sind die Plattenstreifen 1, 3 und 4 nach der Brandbeanspruchung und der Abkühlphase abgebildet.

8.2.5 Versuchsbeobachtungen Balken

Tabelle 19

Versuchsdauer (min)	Beobachtungen Balken 10.04.1987
Bemerkung	Direkt nach dem Auflegen des Balkens auf die Brandhauswände sind erste Risse im sanierten Bereich zu verzeichnen
3	Dunkelfärbung des Anstriches
8	Erste <u>Abplatzung</u> bis auf den Betongrund auf der gesamten Balkenbreite und einer Länge von ca. 25 cm
13	Weitere <u>Abplatzungen</u> , so daß die Bewehrung sichtbar wird
15	Weitere <u>Abplatzungen</u> kleinerer Mörtelstücke auf der gesamten Länge des sanierten Bereiches
20	Wasseraustritt an der Unterseite des Balkens im Übergangsbereich Beton - sanierte Fläche
36	Weitere explosionsartige <u>Abplatzungen</u> kleinerer Mörtelstücke Ende der Beflammung
Zusatz- bemerkung:	Schadensbild nach dem Versuch: An einigen Stellen war die gesamte Mörtelbeschichtung einschließlich der Haftbrücke abgeplatzt, so daß die Bewehrung frei lag. Der überwiegende Teil der sanierten Fläche wies aber noch Grobmörtelreste bis zu einer Dicke von 10 mm auf.

Die Fotoanlage F 21 zeigt das Rißbild des Balkens nach der Kaltbelastung sowie den Balken nach dem Brandversuch.

8.2.6 Zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Versuchsbeobachtungen

Tabelle 20

Bauteil BV-Datum	Sanierungs- system	Beginn umfangreicher Abplatzungen	Art der ersten Abplatzung	Versuchsabbruch
Stütze				
22.06.87 Nr. 1	B	14. min	1 ^{*)}	31. min
01.07.87 Nr. 2	B	10. min	1	51. min
Stützenabschnitte				
22.06.87 Nr. 1	D	6. min	3 ^{*)}	18. min
26.06.87 Nr. 2	B	-	-	125. min
23.06.87 Nr. 3	A	6. min	1	18. min
29.06.87 Nr. 4	C	10. min	1	60. min
09.12.87 Nr. 5.1	G	-	-	92. min
09.12.87 Nr. 5.2	G	-	-	92. min
25.06.87 Nr. 6	E	-	-	92. min
10.12.87 Nr. 7 ^{**)}	G	-	-	12. min
08.12.87 Nr. 3a	F	4. min	3	30. min
23.03.88 Nr. 8.1	F	10. min	1	122. min
23.03.88 Nr. 8.2	F	-	-	122. min
Plattenstreifen				
01.12.87 Nr. 1	G	-	-	122. min
27.05.87 Nr. 2	B	-	-	122. min
03.12.87 Nr. 3	G	-	-	95. min
03.06.87 Nr. 4	B	-	-	122. min
01.06.87 Nr. 5	E	15. min	2 ^{*)}	38. min
Balken				
10.04.87	B	8. min	1	36. min

- *) 1 = Abfallen einer Arbeitslage mit anschließendem Splintern oder Abfallen der restlichen Mörtelschicht bis auf Betongrund
 2 = explosionsartige Abplatzungen einer Lage oder bis auf Betongrund
 3 = Kontinuierliches Absprengen splitterförmiger Mörtelteile

****) Versagen des Bauteils infolge Konstruktionsmangels; wird zur Beurteilung des Sanierungsmörtels nicht herangezogen.**

9. Erkenntnisse und Wertung der Bauteilversuche - Analyse der Versagensursachen

9.1 Analyse der Versagensursachen - Hersteller I

Aus den Bauteilversuchen des Herstellers I (Sanierungssysteme A, B, C, D, E, F) hat sich gezeigt, daß sich biegebeanspruchte Bauteile mit einer Sanierung in der Zugzone wesentlich günstiger verhalten als rein druckbeanspruchte Bauteile wie Stützen und Stützenabschnitte. Dies scheint darin begründet zu sein, daß durch die Ribbildung in der Zugzone die Porosität im Mörtel vergrößert wird und somit ein Abbau des Gas- bzw. Wasserdampfdruckes, bedingt durch die Zersetzung der im Mörtel vorhandenen Kunststoffe in den gasförmigen Zustand unter Volumenzunahme erleichtert wird.

Abweichendes Verhalten zeigten biegebeanspruchte Bauteile mit einer Sanierung der Zugzone mit Spritzmörtel (Plattenstreifen 5) und der Balken. Bei dem mit Spritzmörtel sanierten Plattenstreifen ist die Versagensursache auf die nicht ausreichende Haftung am Betongrund durch den Spritzvorgang mit Umlenkdüse und Mörtelstrahl nach oben zurückzuführen.

Bei dem Balken scheint die Ursache ebenfalls an der Haftung des Mörtels am Betongrund zu liegen. Aufgrund des hier relativ großen Flächenanteils (ca. 30 %) der mit Korrosionsschutzanstrich (Epoxidharz) versehenen Bewehrungsstäbe im Verhältnis zur Gesamthaftfläche könnte hier eine Schwächung der Haftfestigkeit am Betongrund vorliegen.

Aus den Versuchen der Stützen- bzw. Stützenabschnitte hat sich gezeigt, daß durch

- eine erhöhte Feuchtigkeit im Mörtel bzw. Beton (Stützenabschnitt 3a ca. 4 Monate nach Sanierung geprüft und Stützenabschnitt 4 vor der Sanierung extrem lange vorgehäßt) und des damit bei Brandbeanspruchung entstehenden größeren Wasserdampfdruckes,
- eine Verdoppelung des Kunststoffgehaltes im Mörtel (Stützenabschnitt 1) und des bei Zersetzung der Kunststoffe unter Temperaturbeanspruchung erhöhten Gasdruckes und

- zusätzlich auftretende Zwängungsdruckkräfte in der Mörtelscheibe (Stützen und Stützenabschnitte) durch eine Behinderung der Längenausdehnung bei Temperaturbeanspruchung

die Versuchsergebnisse durch frühzeitige Abplatzungen beeinflusst werden.

Der wichtigste Einflußfaktor scheint der unter Brandbeanspruchung entstehende Gas- bzw. Dampfdruck im Zusammenhang mit der geringen Porosität des Mörtelsystems zu sein, wobei bei druckbeanspruchten Bauteilen eine Entlastung durch Ribbildung unsicher ist.

Hierbei ist zu bemerken, daß die Porosität bei den jeweiligen Systemen aufgrund von unterschiedlichen Mischzeiten und Mischgeschwindigkeiten schwanken kann. Eine längere Mischzeit und eine größere Mischgeschwindigkeit kann eine größere Porosität im Mörtel bewirken.

Eine weitere Ursache für das lagenweise Abplatzen der Mörtelschichten kann dem Aufbringen des Mörtels mit längeren Wartezeiten zwischen den einzelnen Mörtellagen zugeschrieben werden, d.h. daß schon Abbindereaktionen in der unteren Lage stattgefunden haben.

9.2 Analyse der Versagensursachen - Hersteller II

Bis auf kleinere Feinmörtelabplatzungen haben sich bei den mit dem Sanierungssystem G des Herstellers II sanierten Bauteile (Plattenstreifen 1 und 3, Stützenabschnitt 3) keine Abplatzungen gezeigt. Es ist davon auszugehen, daß die Porosität dieses Mörtels zur Gasdruckentlastung ausreicht.

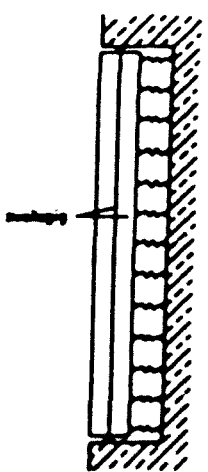
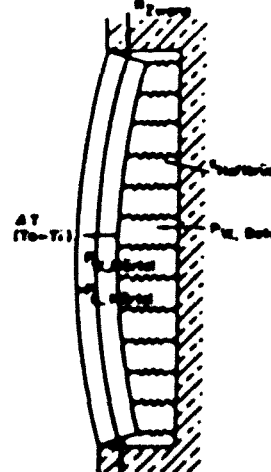
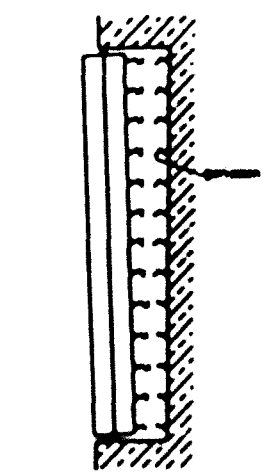
9.3 Modellierung der Versagensursachen und -arten

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß ein Versagen eines Instandsetzungssystems unter Brandbeanspruchung dann auftritt, wenn die Mörtelschicht eine geringe Porosität aufweist, das System also sehr dicht ist, und ein Abbau des Wasserdampf- bzw. Gasdruckes durch die Mörtelschicht hindurch nicht bzw. nur langsam erfolgen kann.

Begünstigend für dieses Versagen des Haftverbundes kann eine Längsdehnbehinderung durch relativ steife umgebende Bauteile sein, die im Bauteil und somit auch in der Mörtelscheibe zusätzliche Zwangdruckkräfte wecken.

Die in der Haftbrücke auftretenden Kräfte zwischen Bauteil und Flickmörtel können durch Zugfedern mit der Federsteifigkeit $C_{\text{Haftbrücke}}$ ersetzt werden. Das folgende Bild zeigt diese Modellvorstellung:

Versagensmodell der Haftbrücke

<p>Kunststoffmodifizierte Mörtelscheibe mit geringer Porosität unter Brandbeanspruchung</p>			
<p>$C_{\text{Haftbrücke}}$</p>	<p>∞</p>	<p>> 0</p>	<p>0</p>
<p>Maßgebende Einwirkungen</p>	<p>ΔT, $P_{\text{Wasserdampf, Mörtel u. Beton}}$, $P_{\text{Gasdruck, Mörtel}}$, P_{Zwang}</p>		
<p>Versagensvorgänge</p>	<p>Kleinere, zeitlich aufeinanderfolgende Abplatzungen von Mörtelstücken</p>	<p>Infolge der geschwächten Haftbrücke entsteht zusätzliche Biegung in der Mörtelscheibe - Überschreitung der Zugfestigkeit des Mörtels und dadurch größere Abplatzungen, lageweise oder bis auf Betongrund.</p>	<p>Mörtelscheibe fällt komplett ohne weitere Abplatzungen von der sanierten Betonfläche ab.</p>

9.4 Zusammenfassung und Wertung

Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen erhebliche Streuungen innerhalb eines Sanierungssystems bei Prüfung an unterschiedlichen Bauteilen. Dies kann mit den unterschiedlichen Verfahren und Schwierigkeiten beim Aufbringen der Sanierungsmörtel zusammenhängen. Entscheidend für das Versuchsergebnis scheint der Aufbau eines Gas- bzw. Wasserdampfdruckes insbesondere im Bereich der Kontaktfläche zwischen Sanierungsmörtel und Bauteil zu sein, wofür die Haftbrücke (Haftfestigkeit) und die Porosität des Mörtels sowie Gehalt an Kunststoff und Feuchte maßgebend zu sein scheinen.

Bei Ausschluß der durch ungewöhnliche Randbedingungen beeinträchtigen Versuchsergebnisse (hohe Eigenfeuchte von Mörtel und Beton, Kunststoffgehalt im Mörtel höher als 12 %, bezogen auf das Zementgewicht und zu geringe Kontaktfläche zwischen Flickmörtel und Beton wegen zu dichter Bewehrungslage) zeigten sich die Produkte bzw. Systeme der Hersteller I und II in brandschutztechnischer Hinsicht etwa gleich gut geeignet. Das Spritzen über Kopf des Flickmörtels unter Verwendung eines "Putzmeisters P 13" hat in den vorliegenden Untersuchungen keine befriedigenden Ergebnisse erbracht; es dürfte sich jedoch lohnen, nach Verbesserungen der Verarbeitungsmethodik zu suchen.

Bei der Wertung im Hinblick auf eine Prüfrichtlinie ist zu berücksichtigen, daß die Sanierungssysteme auf Bauteile im Gebrauchszustand appliziert werden, d.h. in der Praxis nur geringe Zusatzlasten auf die Sanierungsflächen einwirken.

Um einerseits diese Zusatzlasten und andererseits brandbedingte Zwängungskräfte zu berücksichtigen, wird empfohlen, die Bauteilprüfungen an Stützenabschnitten unter 50 % der zul. Gebrauchslast nach DIN 1045 durchzuführen. Die Bauteilprüfungen an Plattenstreifen können aufgrund der zwängungsfreien Lagerung und der statischen Ausnutzung der zul. Gebrauchslast infolge Eigengewicht von $\geq 50\%$ ohne Zusatzlasten, d.h. nur unter Eigengewicht, durchgeführt werden.

10. Folgerungen für eine praxisgerechte brandschutztechnische Beurteilung von mit kunststoffmodifizierten Mörteln sanierten Stahlbetonbauteilen - Erarbeitung einer Prüfrichtlinie

Aufgrund der Ergebnisse der hier durchgeführten Vorversuche und Bauteilversuche kann für die Beurteilung der Wirksamkeit des Instandsetzungssystems unter Brandbeanspruchung bis auf weiteres die nachfolgende Prüfrichtlinie empfohlen werden:

Prüfrichtlinie "Brandverhalten"

Stufe 1: Vorversuche

Zur Beurteilung der generellen Eignung des Sanierungsmörtels bezüglich des Brandverhaltens sollten orientierend an unbelasteten Kleinproben (Reprofilierungsplatten nach Anlage 1) Vorversuche durchgeführt werden.

Stufe 2: Bauteilversuche

2.1 Allgemeines

Durch Prüfung an Stahlbetonbauteilen soll die brandschutztechnische Wirksamkeit des Sanierungsmörtels unter praxisnahen Last- und Einbaubedingungen geprüft werden. Die Stahlbetonbauteile sind für eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten nach DIN 4102 Teil 4 bezüglich des Achsabstandes u und der Querschnittsabmessung zu dimensionieren. Die Prüfungen sind an dehnbehinderten Stützenstummeln nach Anlage 8 unter 50 % der zul. Gebrauchslast und an Plattenstreifen nach Anlage 11 unter Eigengewicht durchzuführen.

2.2 Probenvorbereitung

Es ist das gesamte Instandsetzungssystem des Herstellers (Korrosionsschutz, Haftbrücke, Grobmörtel, Feinmörtel und Endanstriche) aufzutragen.

Für die Bauteilversuche sind mindestens jeweils zwei Plattenstreifen $b/d/l = 95/12/230$ cm mit einer Fehlfläche in der Biegezugzone in Überkopfarbeit und zwei Stützenabschnitte $b/d/l = 30/30/90$ cm mit einer vertikalen Fehlfläche zu sanieren. Die Fehlflächen der Bauteile sollen den Angaben in An-

lage 11 bzw. 8 entsprechen und vor der Sanierung praxisgerecht durch Sandstrahlen aufgerauht werden.

Die Ausgleichsfeuchte der Stahlbeton-Prüfkörper soll vor der Sanierung nahezu erreicht sein (ca. sechsmonatige Lagerung unter Normalklima oder künstlicher Alterung).

Der Sanierungsmörtel soll ebenfalls seine Ausgleichsfeuchte nahezu erreicht haben (ca. sechsmonatige Lagerung unter Normalklima).

Temperaturmessungen an einzelnen Bewehrungsstäben sind vorzusehen.

2.3 Brandprüfungen an den sanierten Prüfkörpern

2.3.1 Brandprüfung

Die Beflammung erfolgt nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) gemäß DIN 4102 Teil 2, Ausgabe 9/1977.

2.3.2 Prüfkriterien

Die Schutzwirkung des Instandsetzungssystems gilt als beendet, wenn der kunststoffmodifizierte Mörtel großflächig bis auf die Bewehrung abplatzt oder die kritische Stahltemperatur überschritten wird.

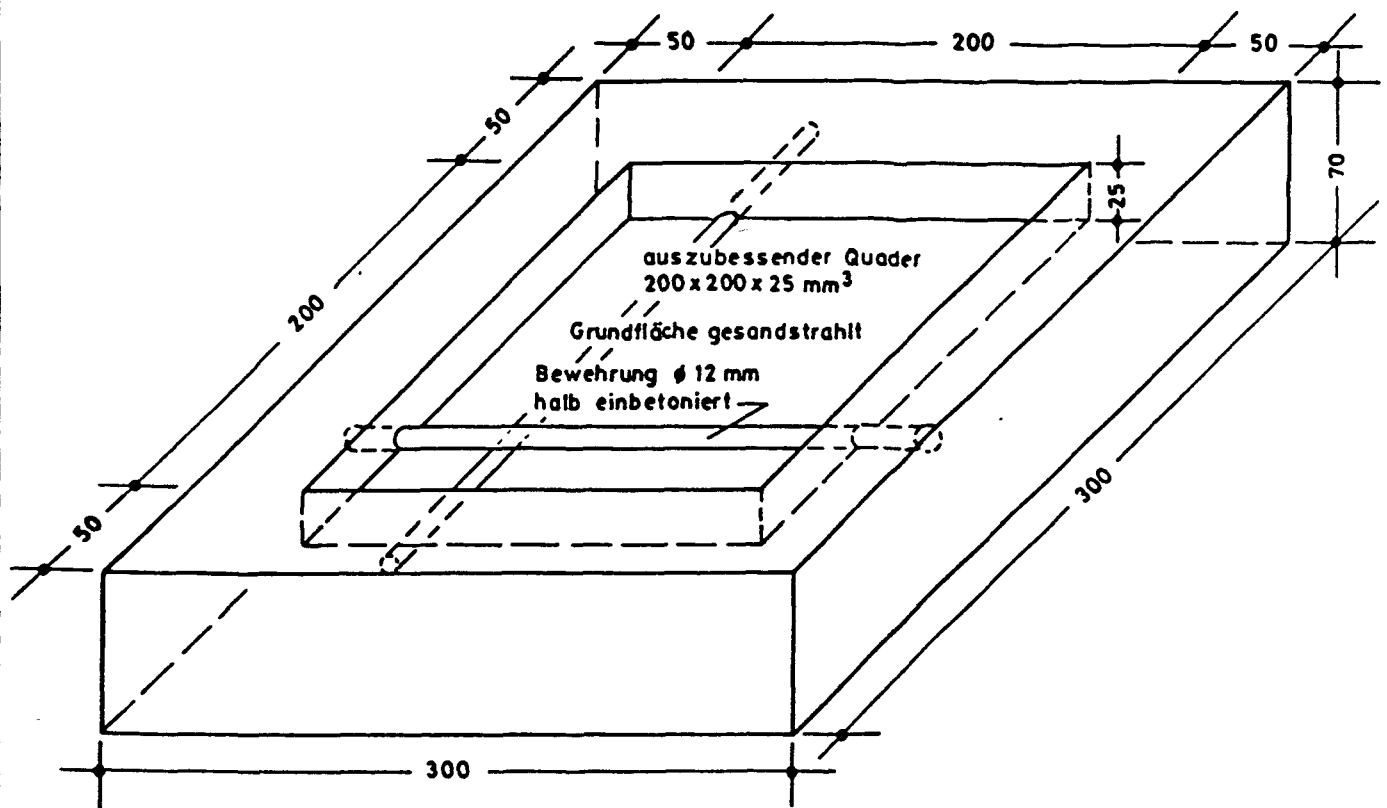
2.4 Beurteilung der Eignung

Das Verhalten eines Instandsetzungssystems unter Brandbeanspruchung ist danach zu beurteilen, ob

- der kunststoffmodifizierte Brandschutzmörtel eine Gefahr durch herabfallende Mörtelschichten darstellt und
- der kunststoffmodifizierte Brandschutzmörtel im Sinne von DIN 4102 Teil 4, Ausgabe 3/1981, Abschnitt 3.1.5 als Ersatz für den Achsabstand u oder eine Querschnittsabmessung der Stahlbeton-Bauteile angesetzt werden kann, wobei 10 mm Mörteldicke als Ersatz für 10 mm Normalbeton angerechnet werden. Die Dicke großflächiger Mörtelergänzungen sollte 40 mm nicht überschreiten.

11. Normen und Literaturangaben

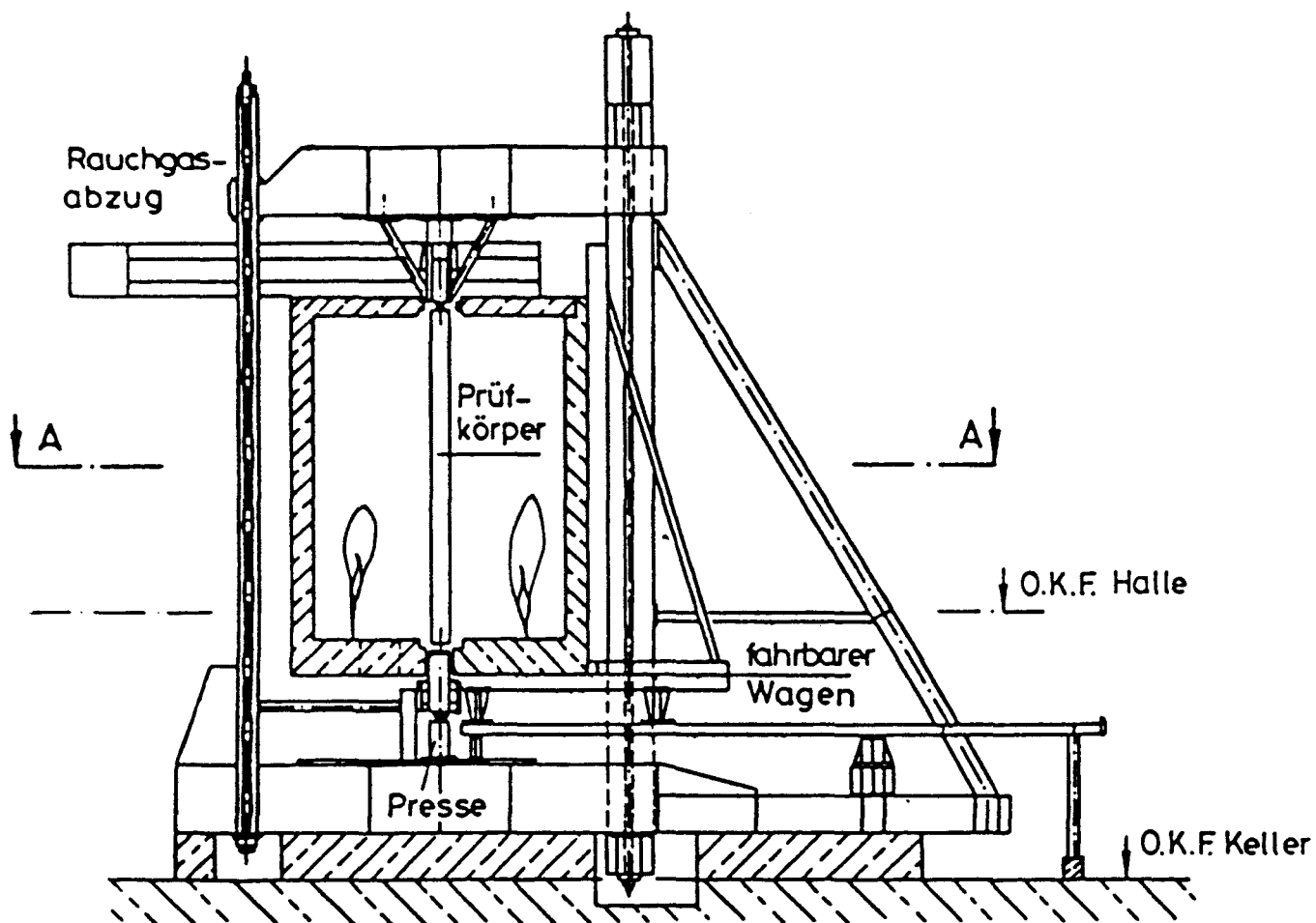
- DIN 1045 Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung
- DIN 4102 Teil 2 und Teil 4, Brandverhalten von Bauteilen, Ausgaben 9/77, 3/81
- Prüfprogramm "Betonoverschutz-/Instandsetzungssysteme", Neisecke IBMB, 6.11.1985.
- Beton-Brandschutz-Handbuch, Betonverlag Düsseldorf, 1971.



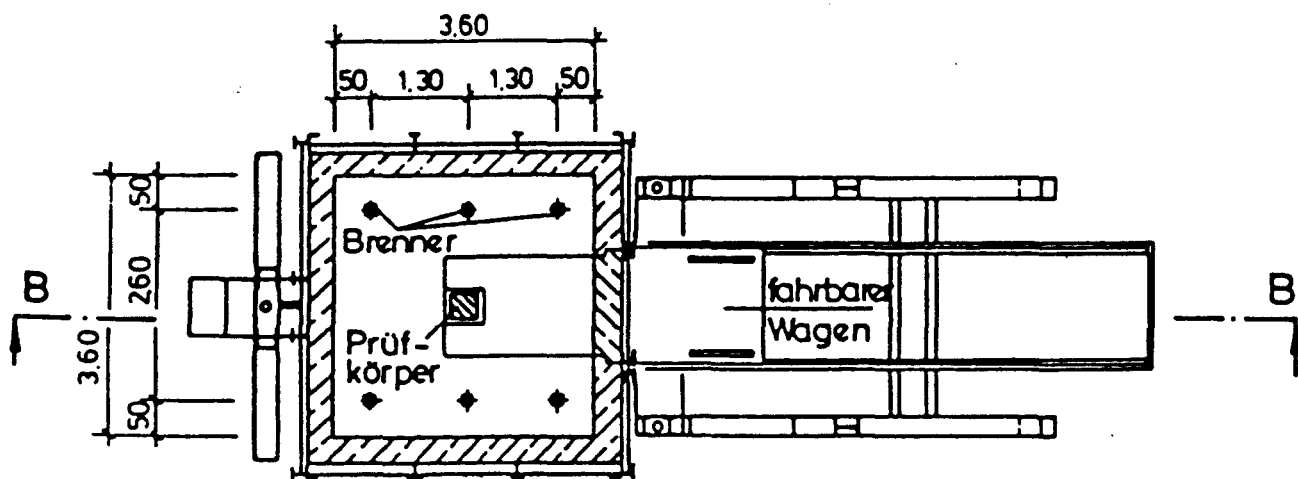
Maße in mm

Versuchskörper
- Reprofilierungsplatte -
für Vorversuche

Anlage 1 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



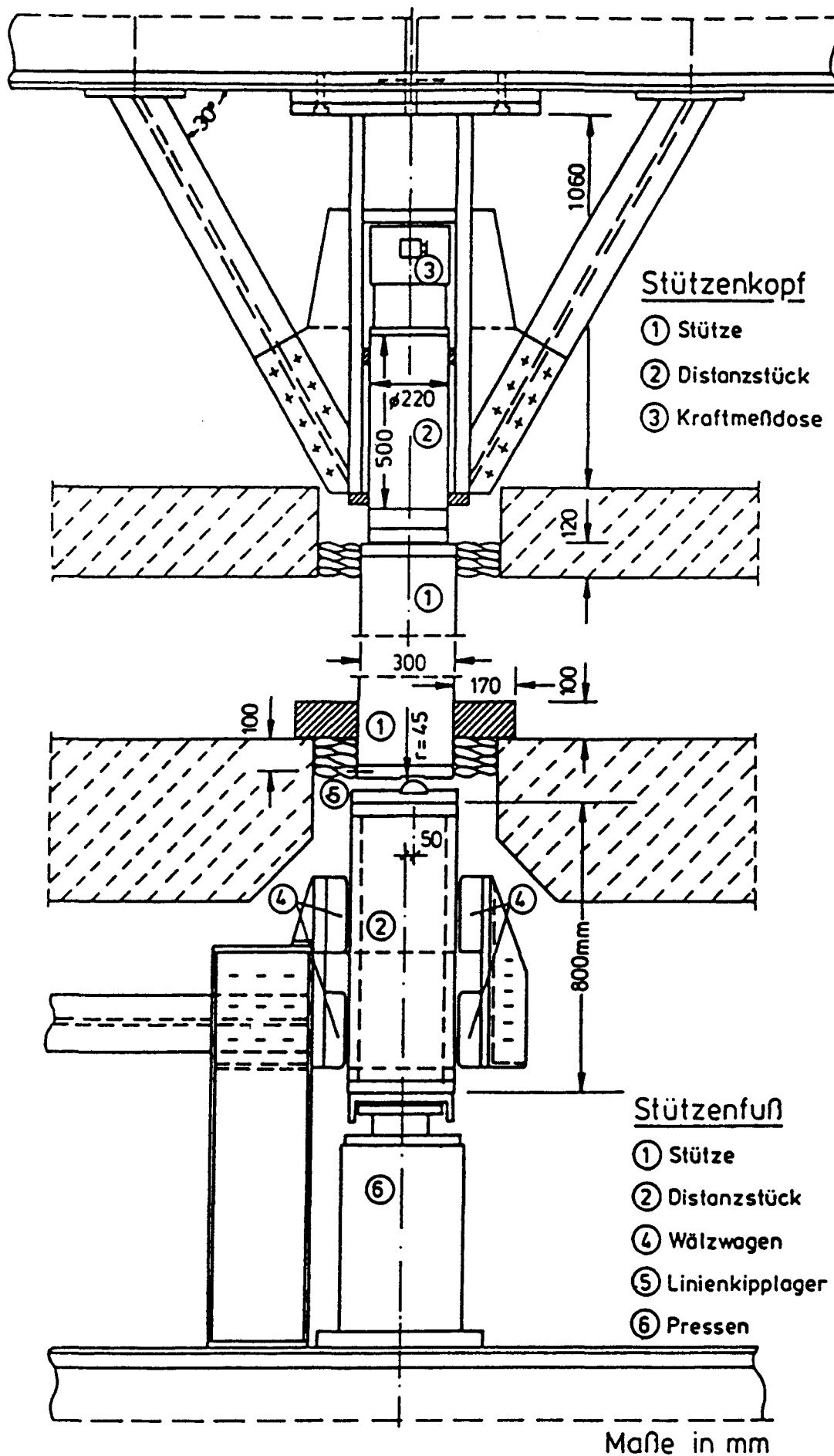
Schnitt B-B



Schnitt A-A

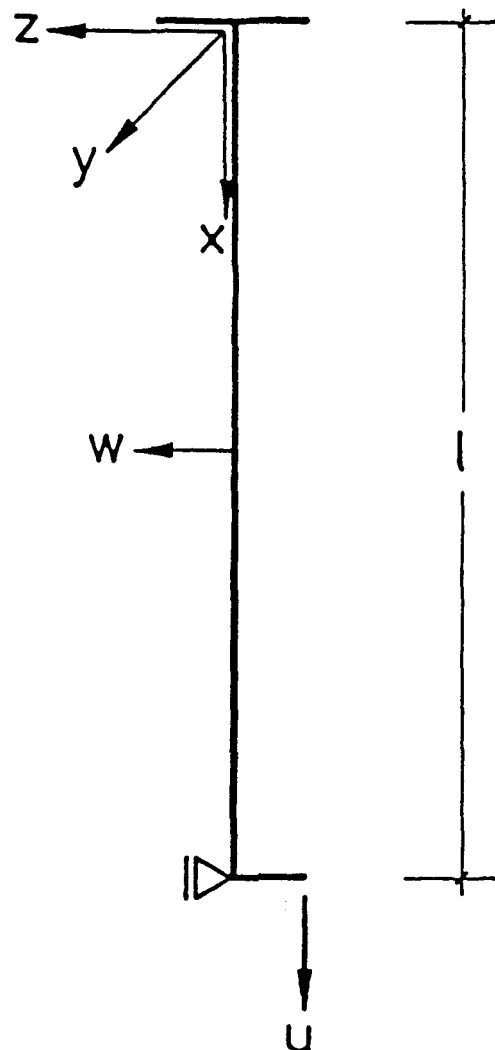
Versuchsaufbau Stützen

Anlage 2 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



Versuchsaufbau Stützen
Darstellung der Lasteinleitung

Anlage 3 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

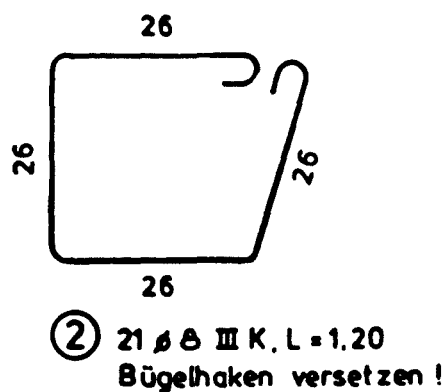
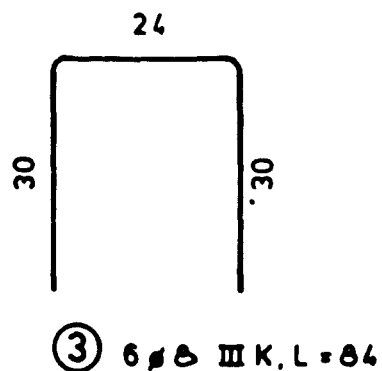
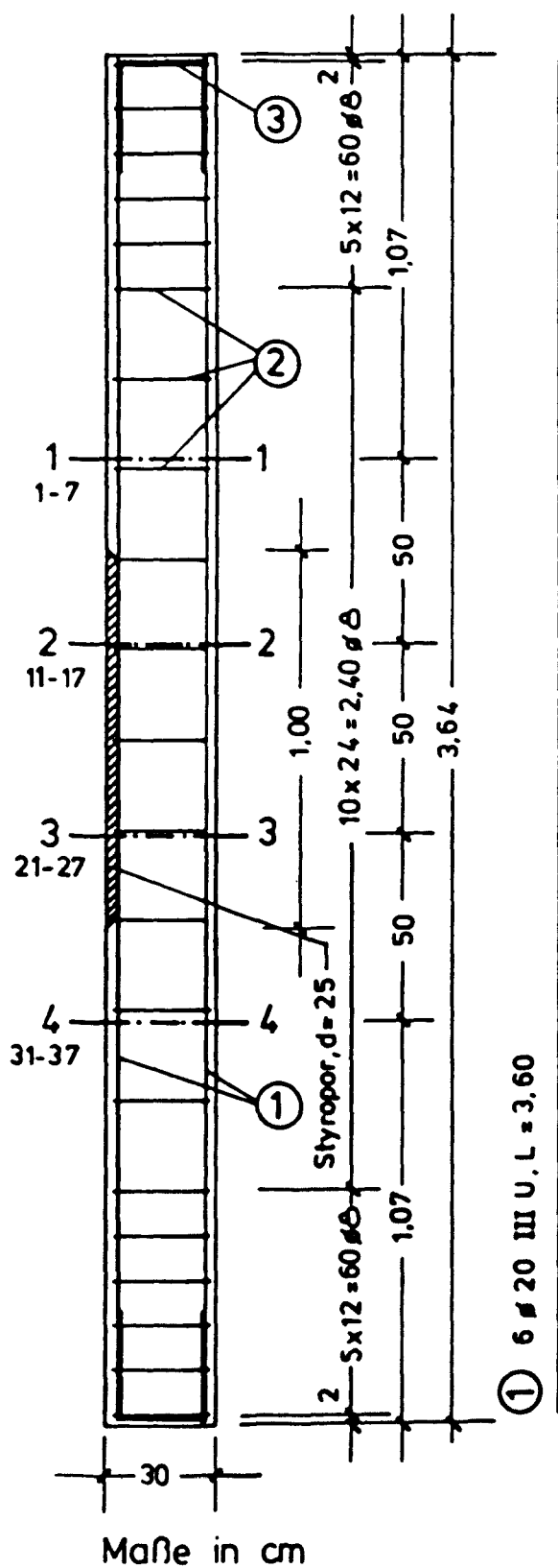


Verformungsmessungen der
Stb.-Stützen-Versuche

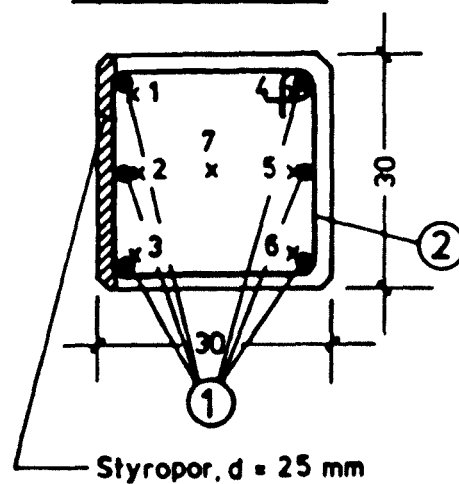
Anlage 4 zum
Forschunvorhaben
"Sanierung"

Az.: VB1-72.02-

Nr. 190/86 02/12/2013



Schnitt 1-1



Baustoffe:

Betongüte: B 25

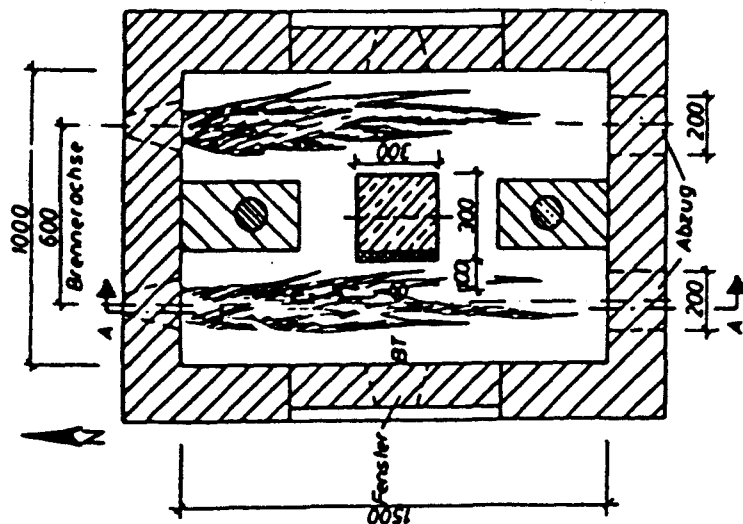
Betonstahl: BSt 420 S

Betondeckung $C_{Bu}=2,0\text{cm}$

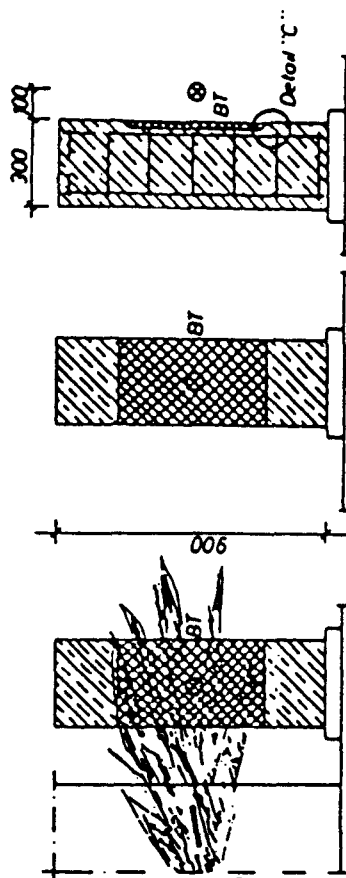
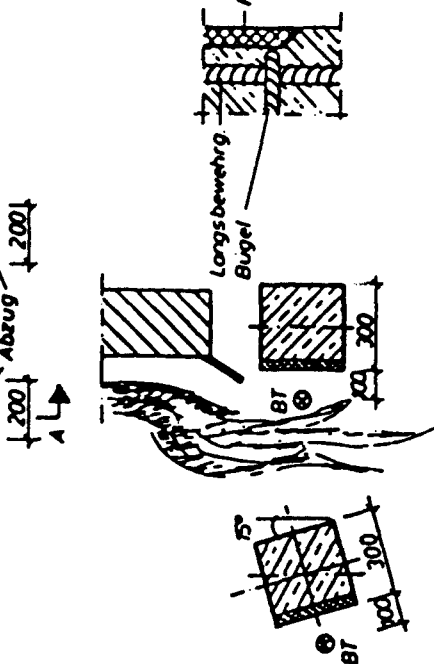
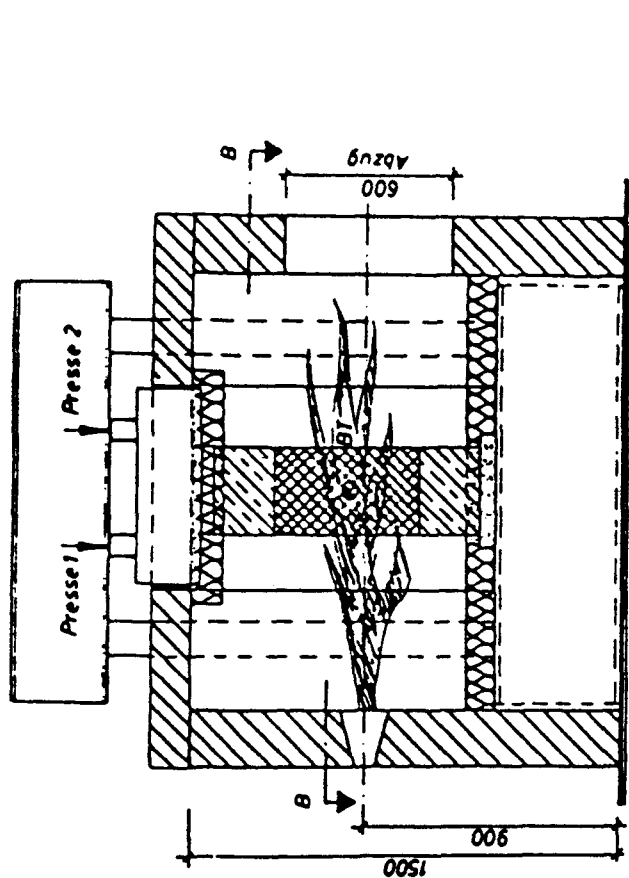
Bewehrungsplan Stb.-Stützen
und
Lage der Temperaturmeßstellen im Bauteil

Anlage 5 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

Schnitt B-B BAUTEILSTELLUNG "A"



Schnitt A-A Bauteilstellung "A"



Maße in mm

BAUTEILSTELLUNG "B"

senkrechte
Flammenablenkung

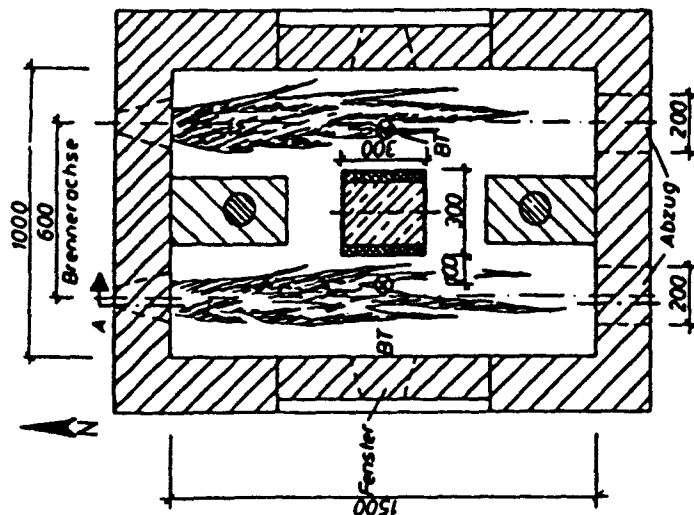
vertikale Flammenspreizung

BT: Brandraum-Temperatur-Messstelle

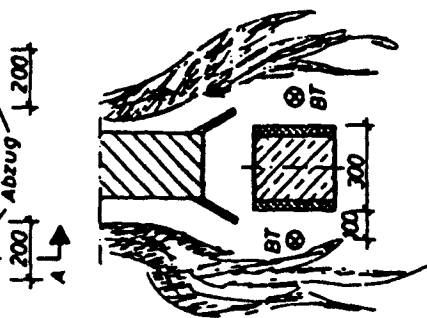
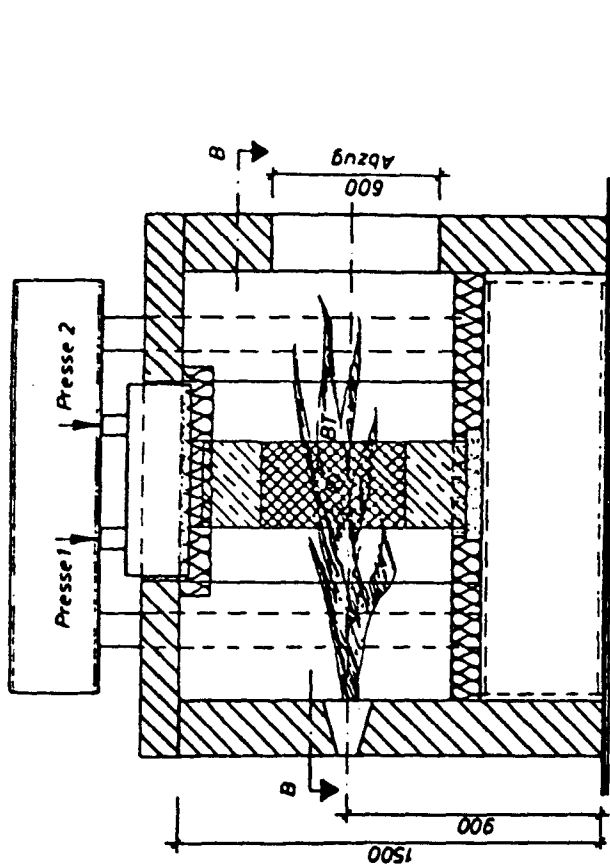
Versuchsaufbau Stützenabschnitte
bei einer sanierten Fehlflächenseite

Anlage 6 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86
02/12/2013

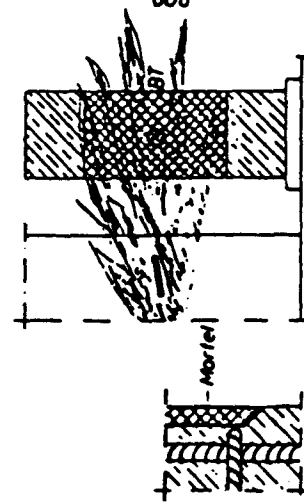
Schnitt B-B BAUTEILSTELLUNG "A"



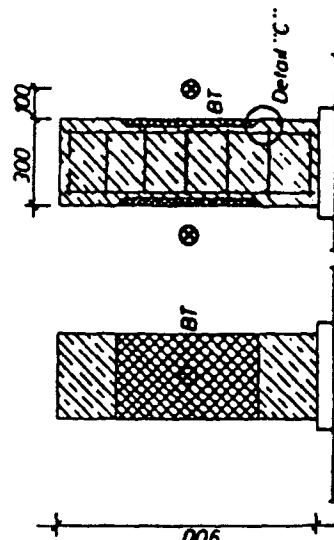
Schnitt A-A Bauteilstellung "A"



seitliche
Flammenablenkung



seitliche Flammenspreizung
Detail "C"
BT = Brandraum-Temperatur-Meßstelle

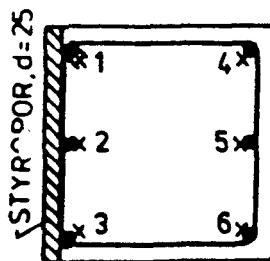
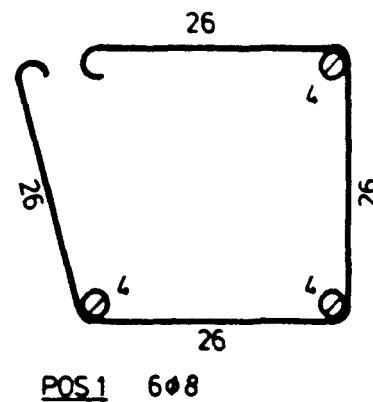
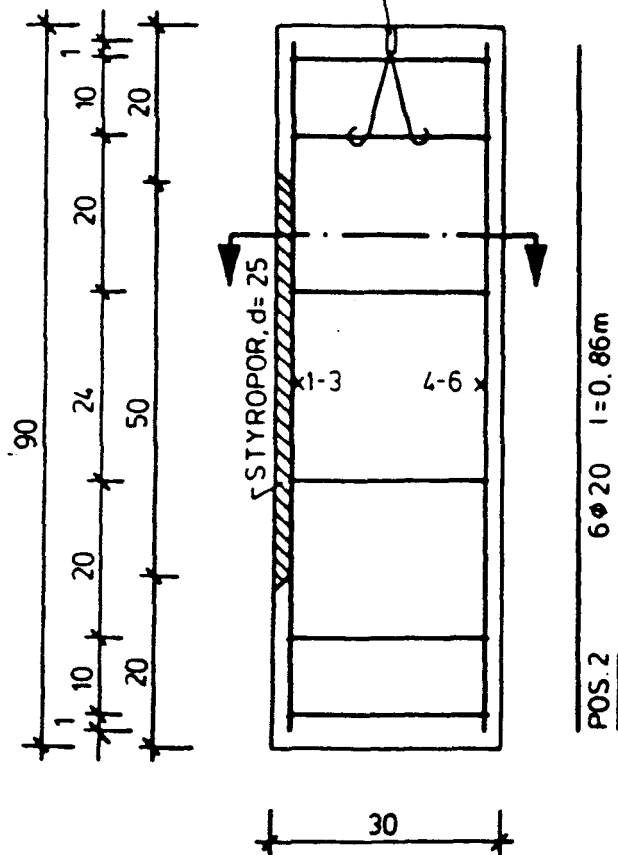


Maße in mm

Versuchsaufbau Stützenabschnitte
bei 2 gegenüberliegenden sanierten Fehlflächen

Anlage 7 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

1 Transportanker im Kopfpunkt vorsehen



Maße in cm

künstliche Fehlstelle mit
STYROPOR, $d = 25$ mm.
angeschrägt

Baustoffe:

Betongüte: B 25

Betonstahl: BSt 420 S

Betondeckung $C_{Bu} = 2,0$ cm

Bewehrungsplan Stützenabschnitte
und

Lage der Temperaturmeßstellen im Bauteil
bei einer sanierten Seite

Anlage 8 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"

Az.: VB1-72.02-

Nr. 190/86 02/12/2013

90

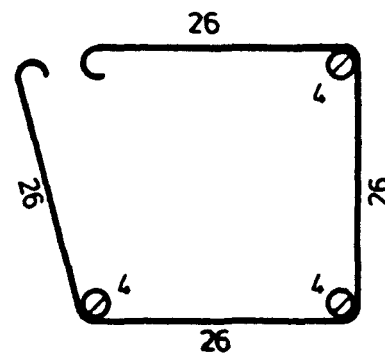
1 10 20 20 20 20 20 1

30

1-3 4-6

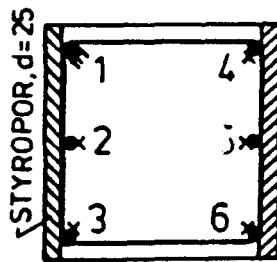
STYROPOR, d=25

POS.2 6 Ø 20 l=0.86 m



POS.1 608

Maße in cm

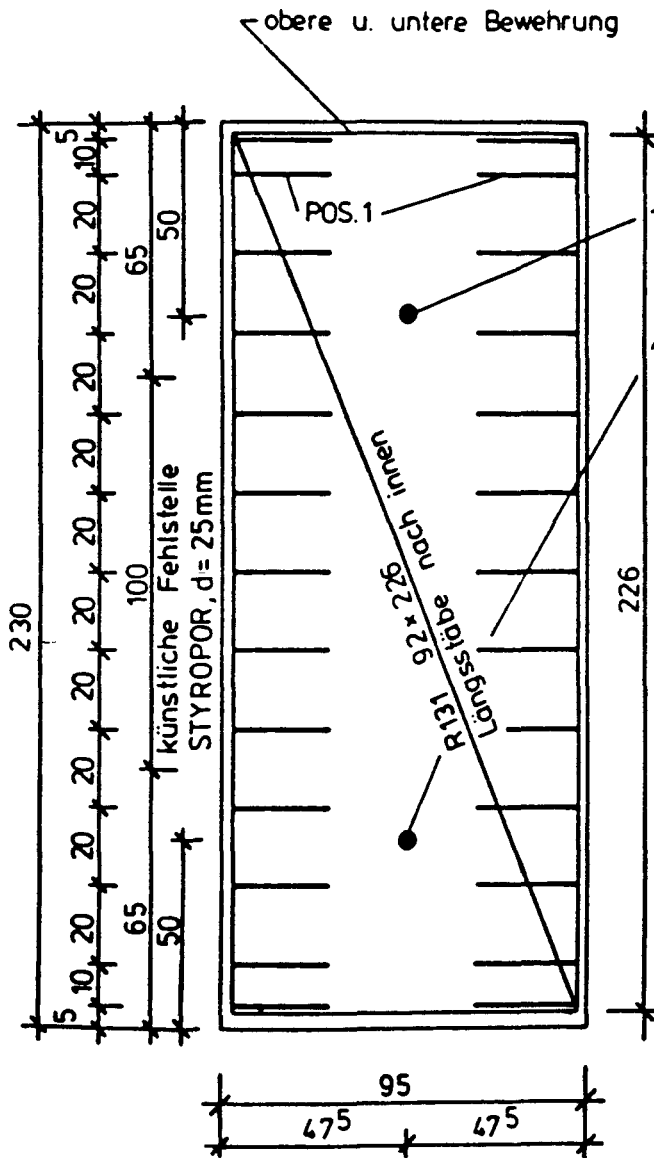


Betongüte : B 25
Betonstahl : BSt 420 S
Betondeckung $C_{Bu} = 2,0 \text{ cm}$

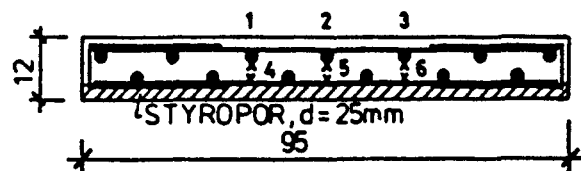
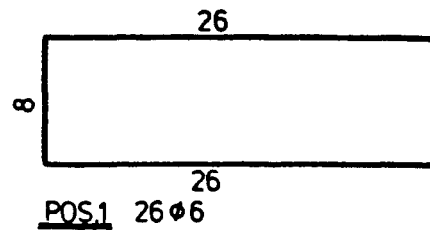
künstliche Fehlstellen mit
STYROPOR, d = 25mm,
an 2 gegenüberliegenden Seiten
angeschrägt

**Bewehrungsplan Stützenabschnitte
und
Lage der Temperaturmeßstellen im Bauteil
bei zwei sanierten Seiten**

Anlage 9 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



2 Transportanker versehen



Matten mit den Längsstäben
nach innen verlegen
Fehlstelle bis auf die Querstäbe

Maße in cm

künstliche Fehlstelle mit
STYROPOR, d=25mm,

Baustoffe :

Betongüte : B 25

Betonstahl : BSt 420 S

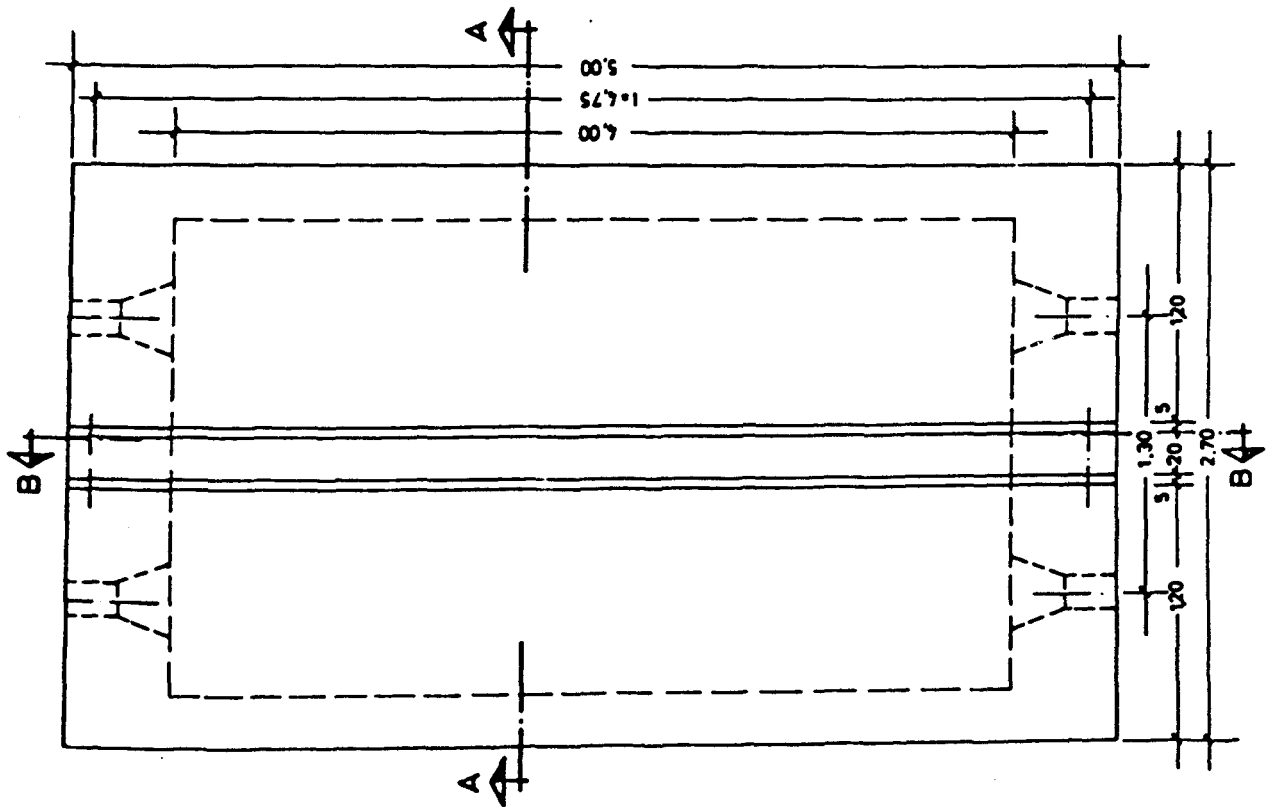
BSt 500 M

Betondeckung $C_{Bu} = 2,5\text{cm}$

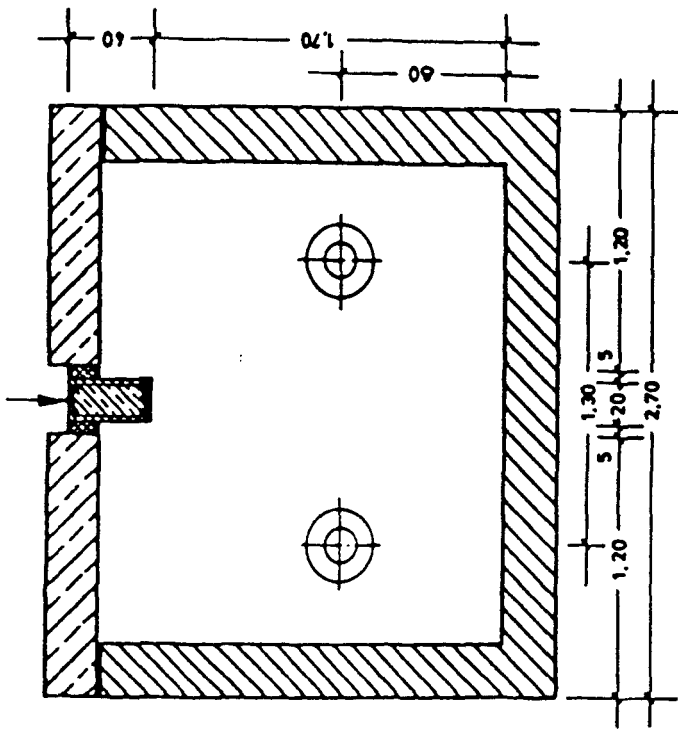
Bewehrungsplan Plattenstreifen
und
Lage der Temperaturmeßstellen im Bauteil

Anlage 11 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

Draufsicht

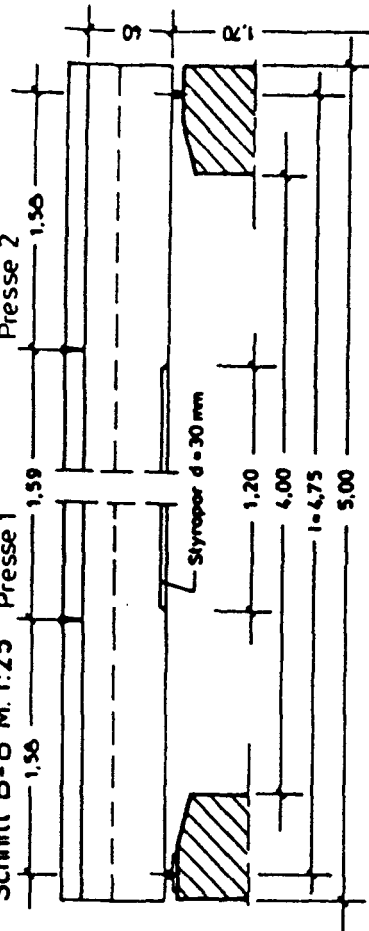


Schnitt A-A M. 1:25



Schnitt B-B M. 1:25 Presse 1

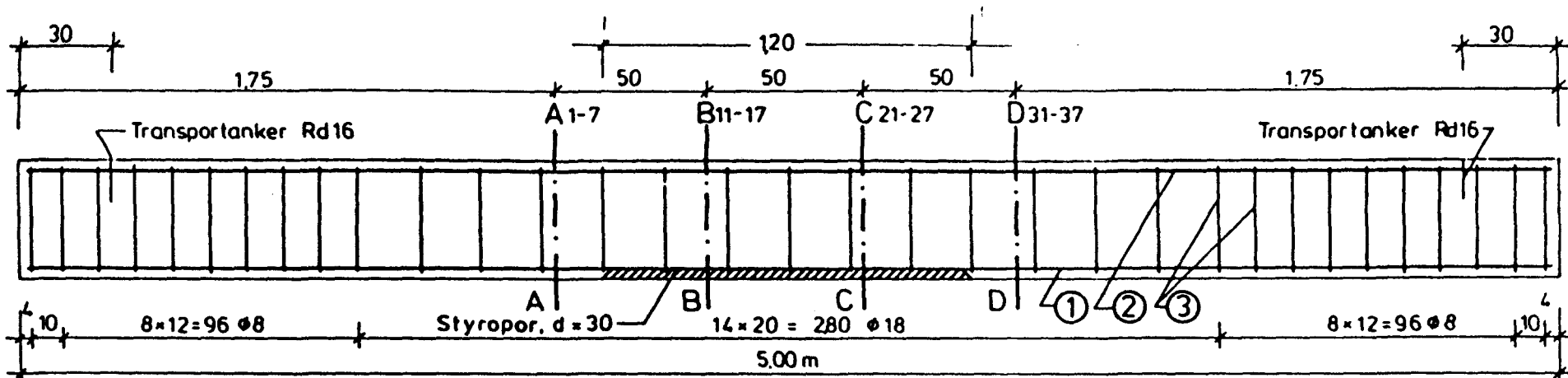
Presse 2



Versuchsaufbau Balken

Anlage 12 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

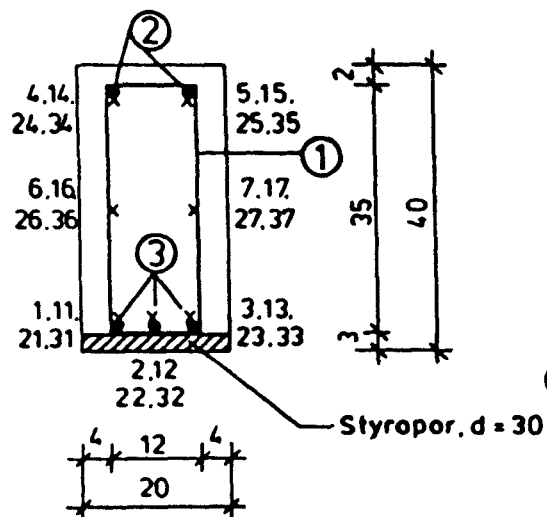
Bewehrungsplan Balken
und
Lage der Temperaturmeßstellen im Bauteil



② $2 \phi 8^{\text{III}}$. L = 4.95

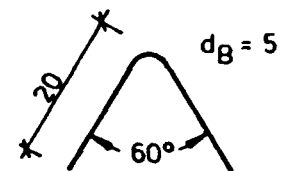
③ $3 \phi 20^{\text{III}}$. L = 4.95

Schnitt



① $33 \text{ B } \phi 8^{\text{III}}$. L = 1.15 m

④ $2 \phi 10^{\text{III}}$. L = 45

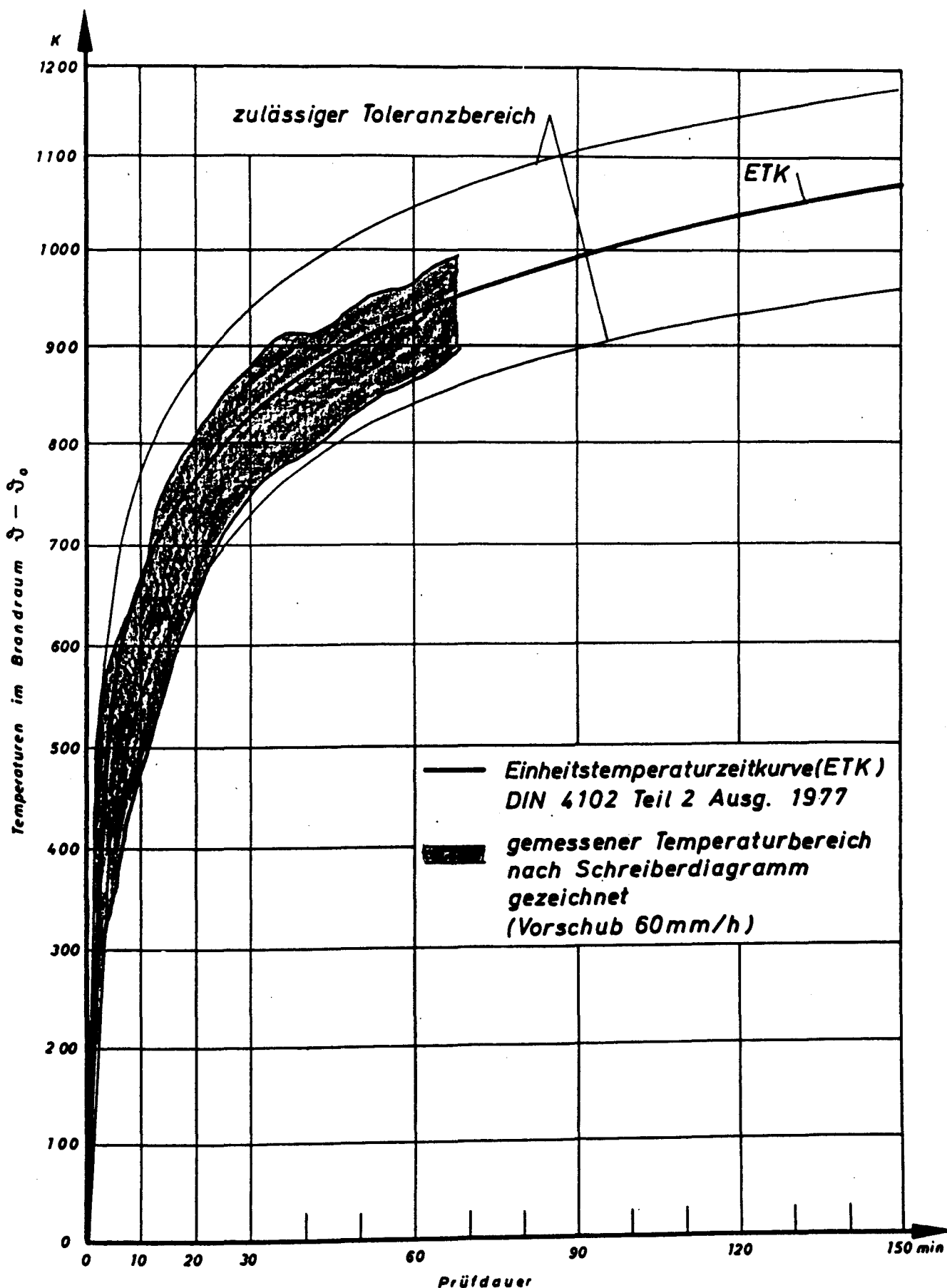


Baustoffe :

Betongüte : B 25

Betonstahl : BSt 420 S

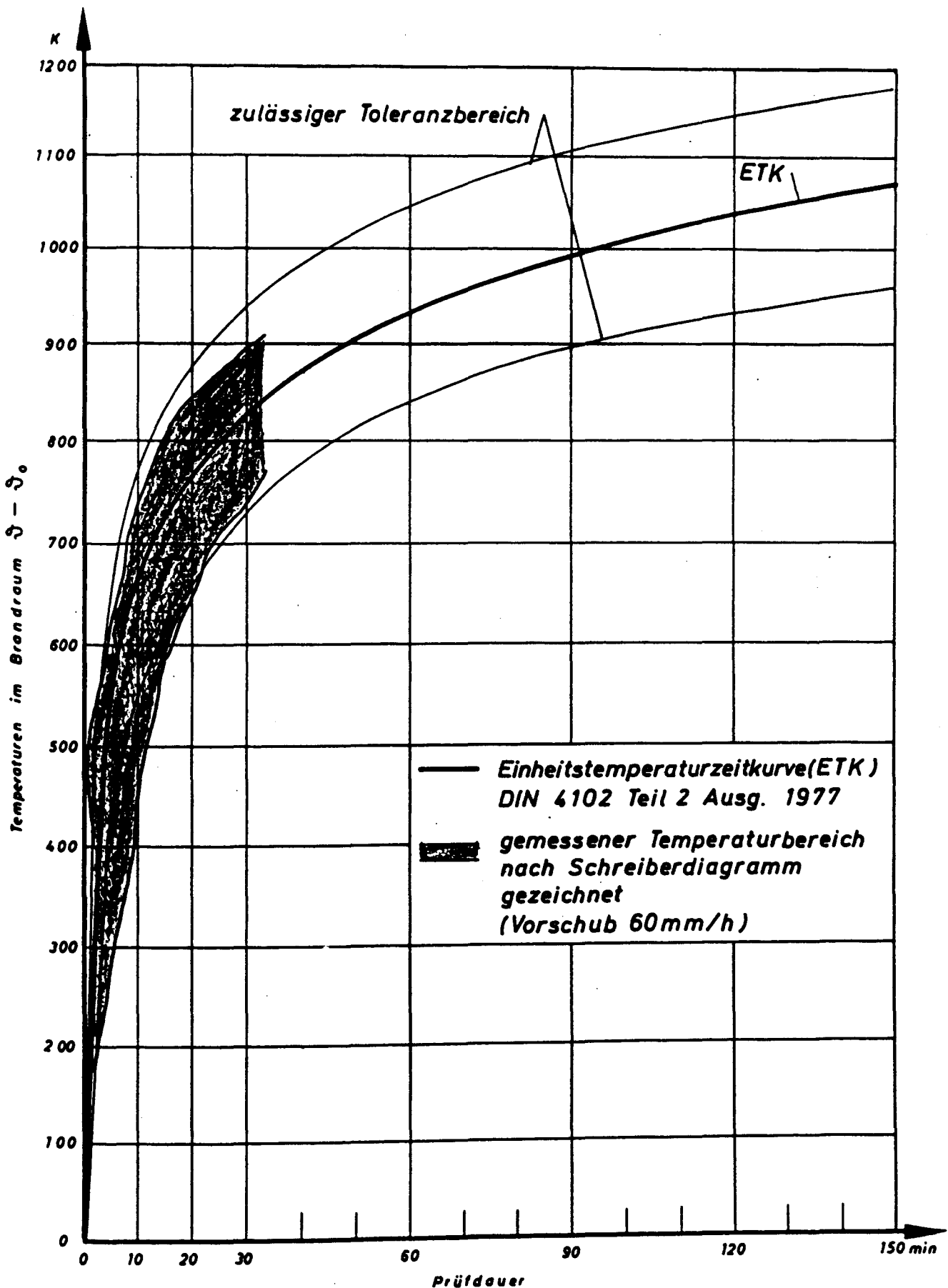
Betondeckung $C_{Bu} = 3,0\text{cm}$



Vorversuch 1 Hersteller I

Temperatures in the fire chamber
Prüfung

Anlage 14 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

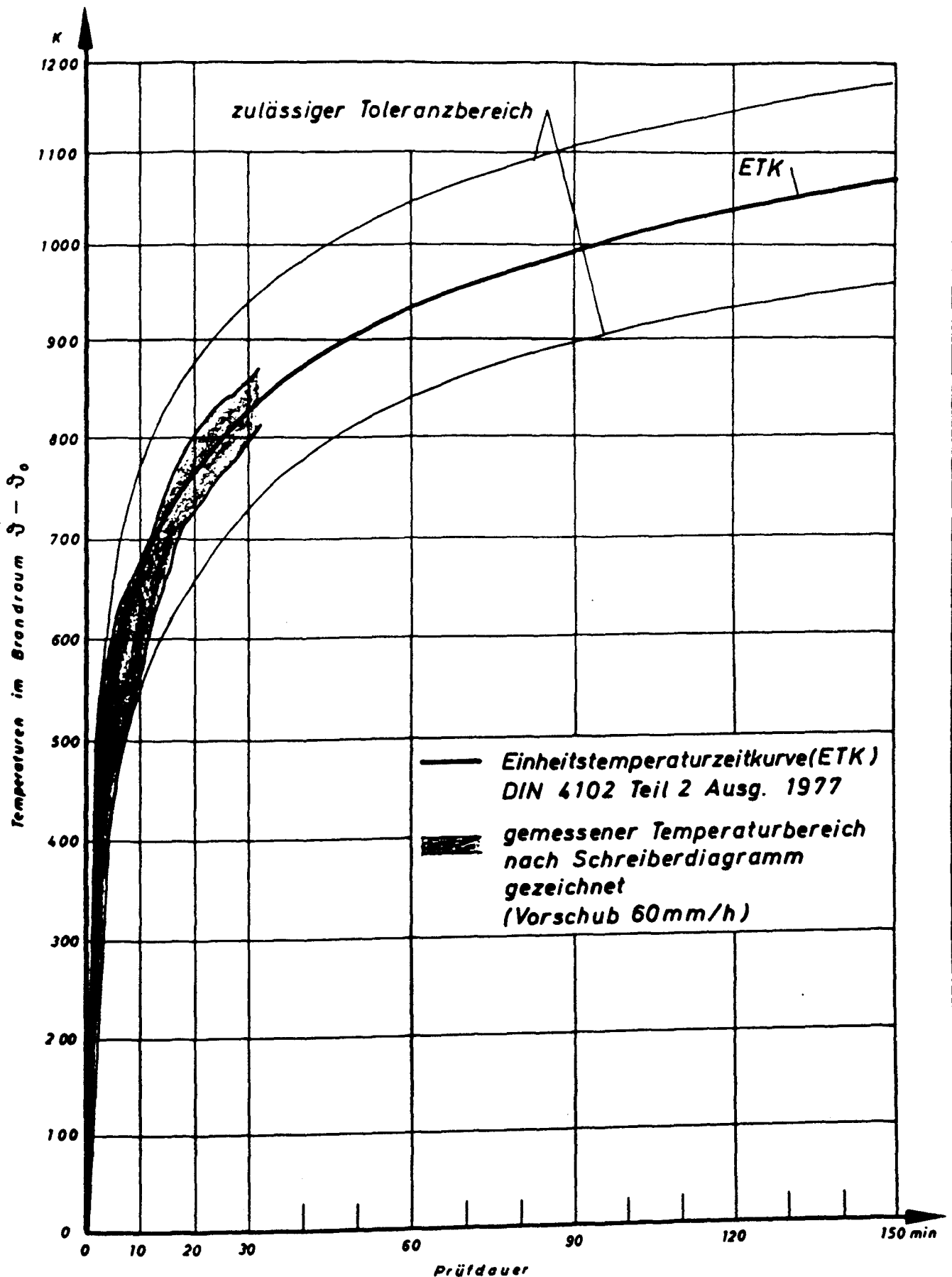


Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 19 °C

Vorversuch 2 Hersteller II

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 15 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



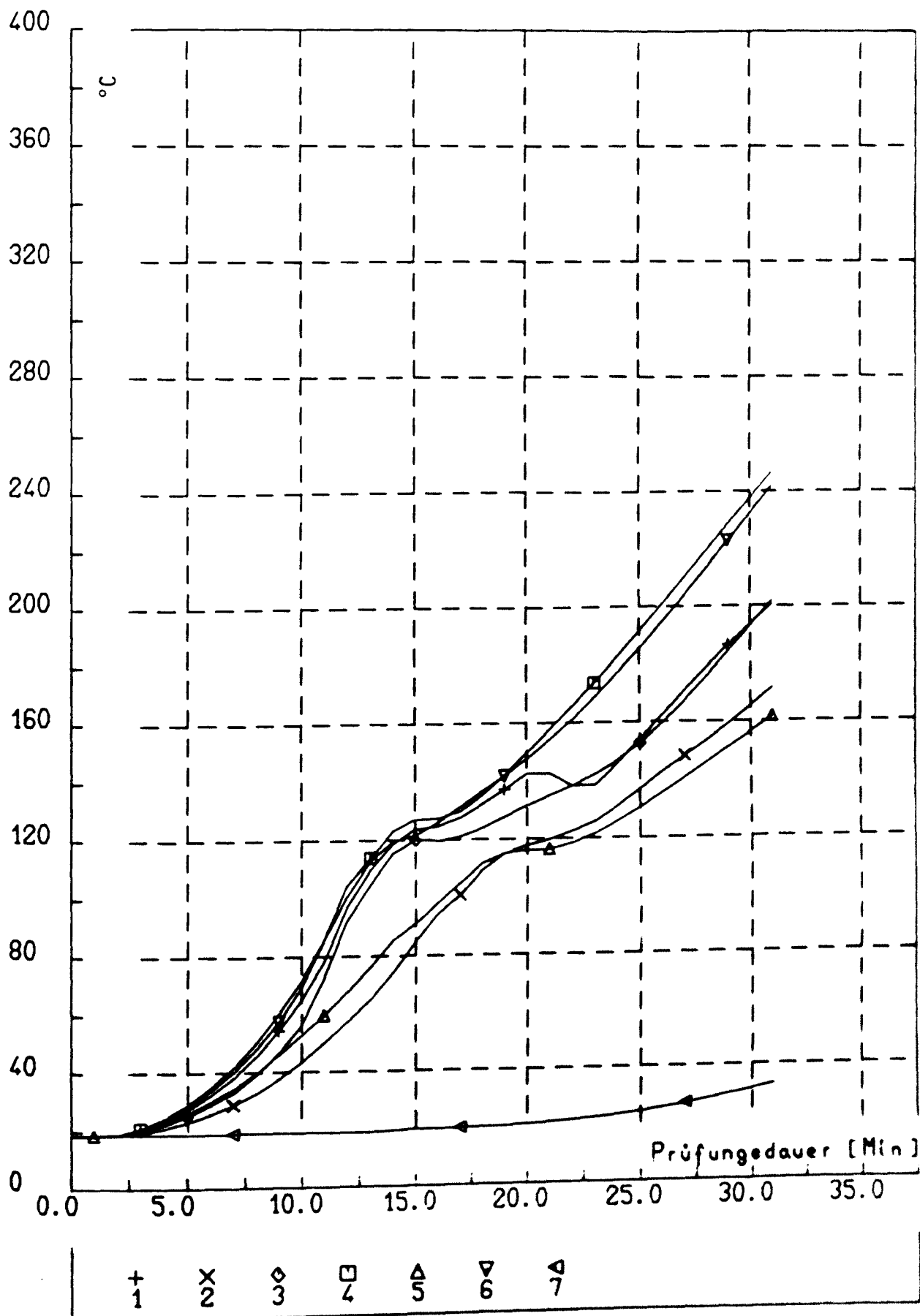
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 21°C

Stütze 1

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 16 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

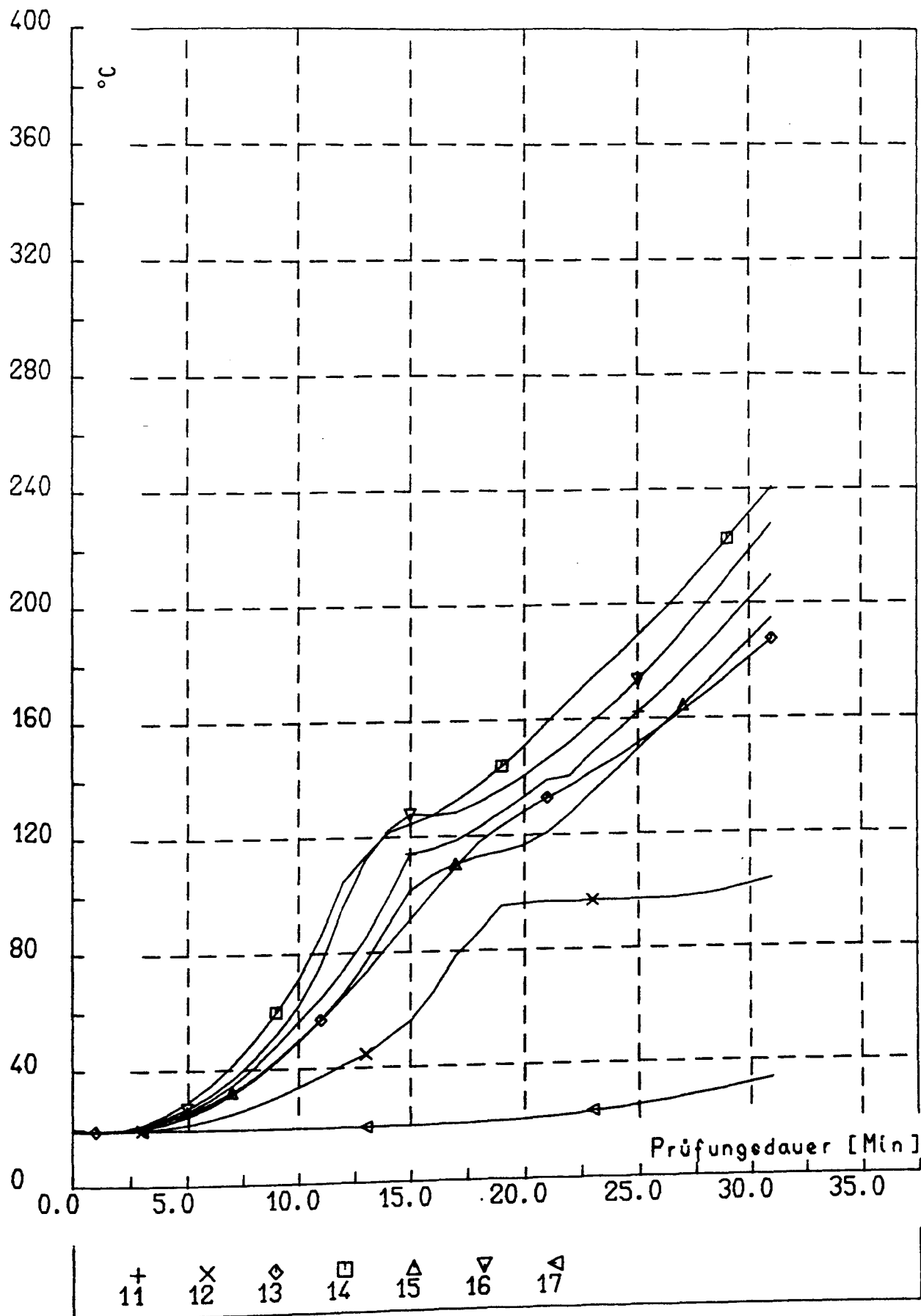
STUETZE-1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 17 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBl-72.02-
Nr. 190/86

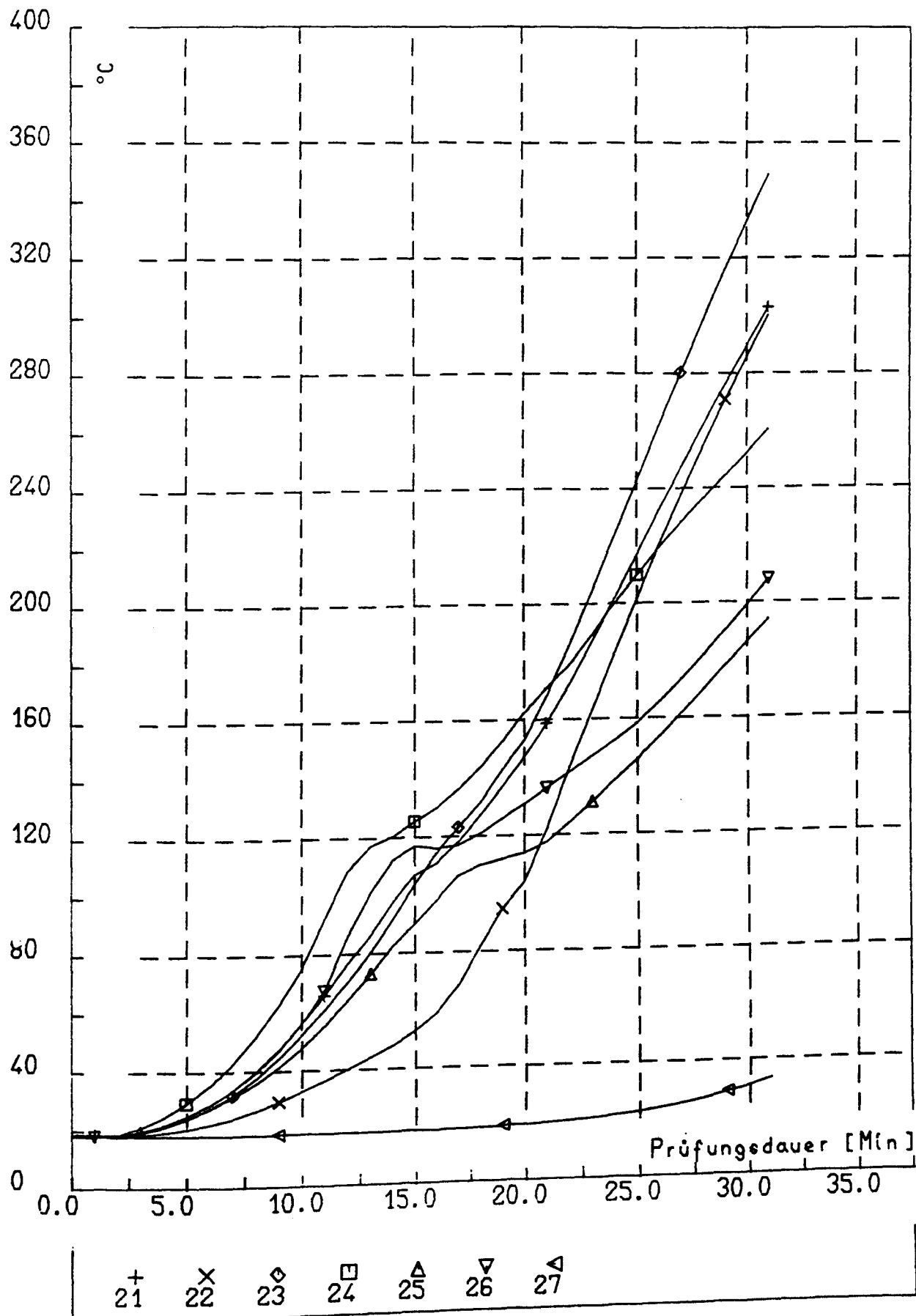
STUETZE-1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 18 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

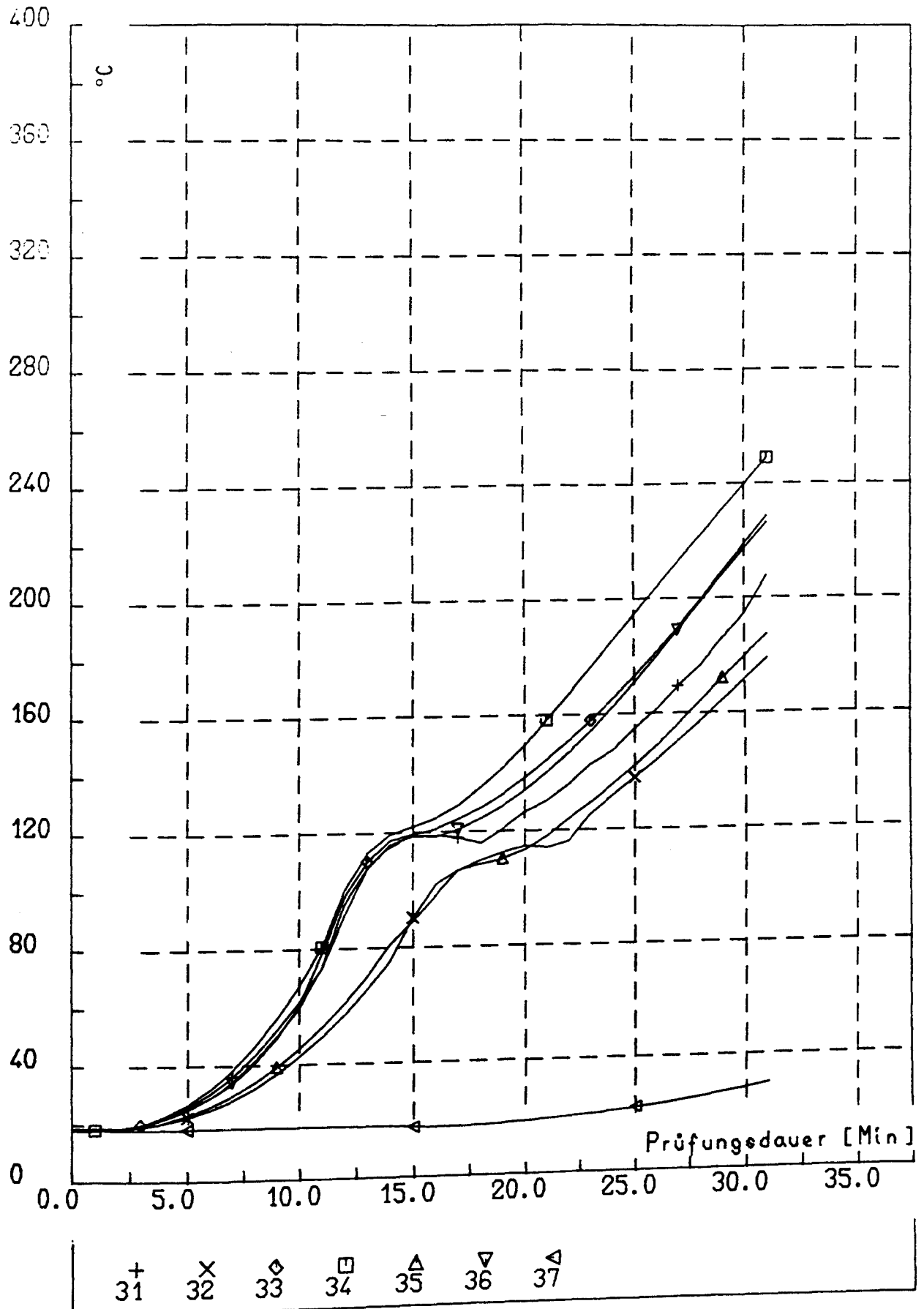
STUETZE-1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 19 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

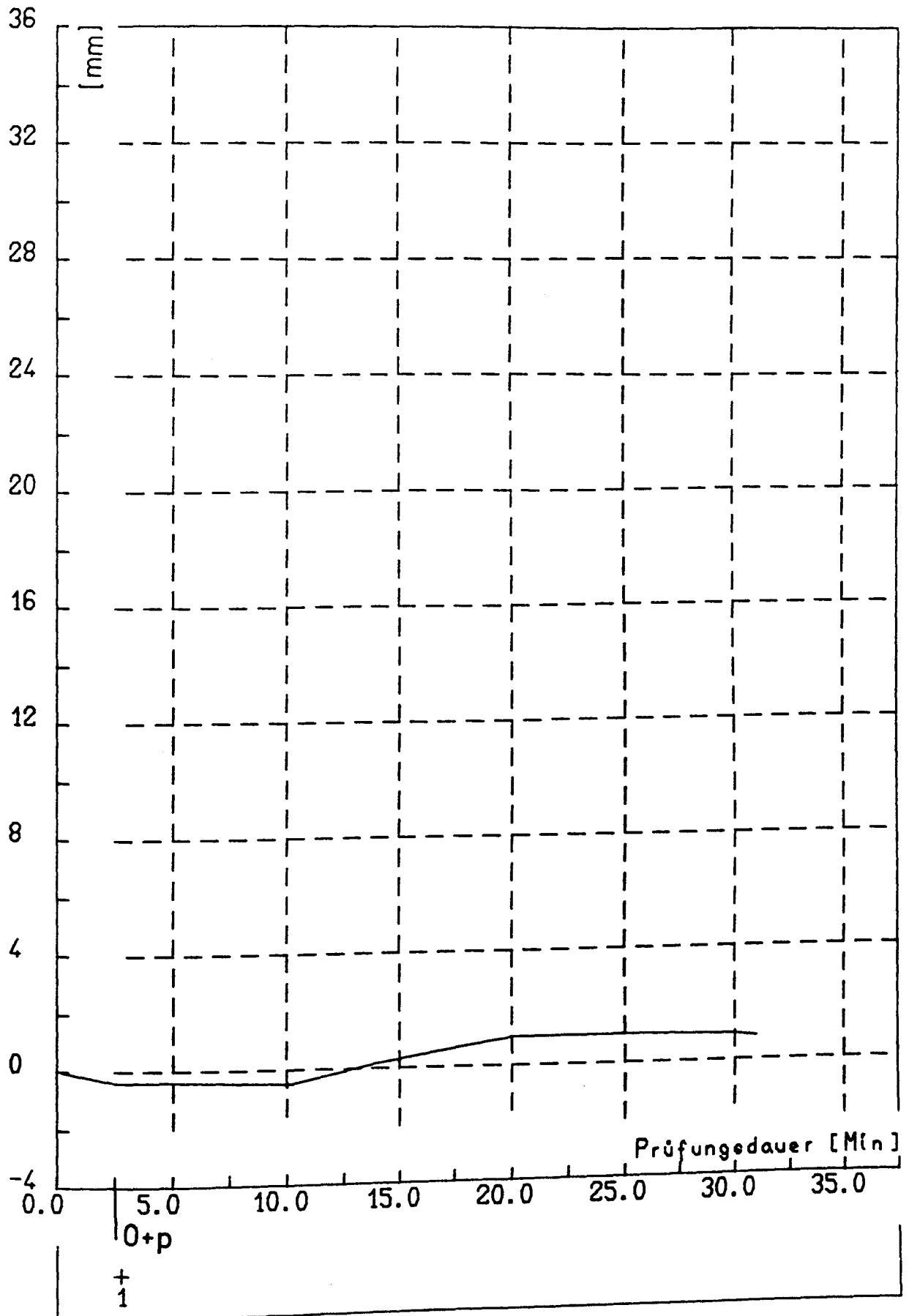
STUETZE-1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

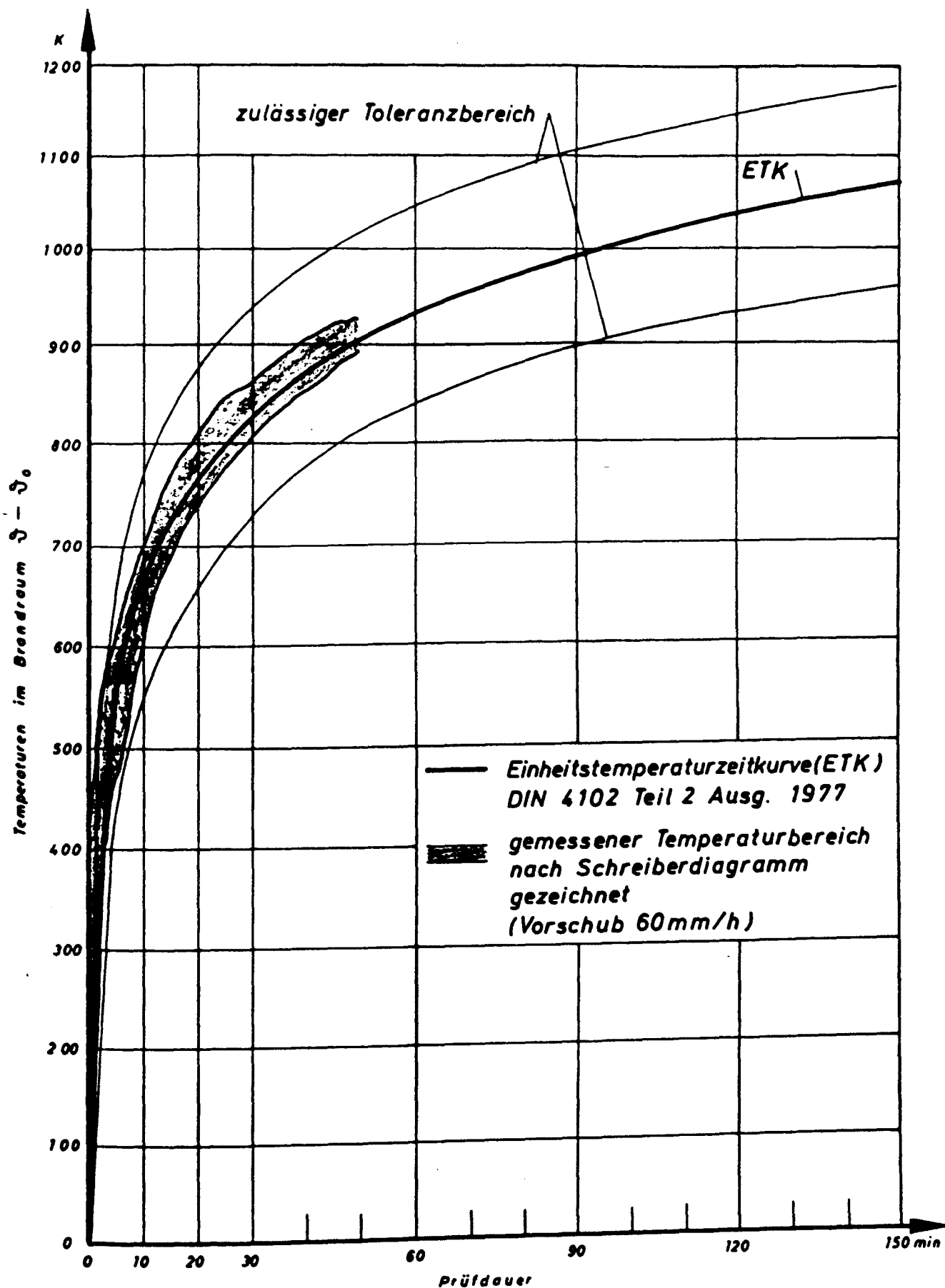
Anlage 20 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZE-1 VERFORMUNG -w



VERFORMUNGEN PRÜFUNG 1

Anlage 21 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



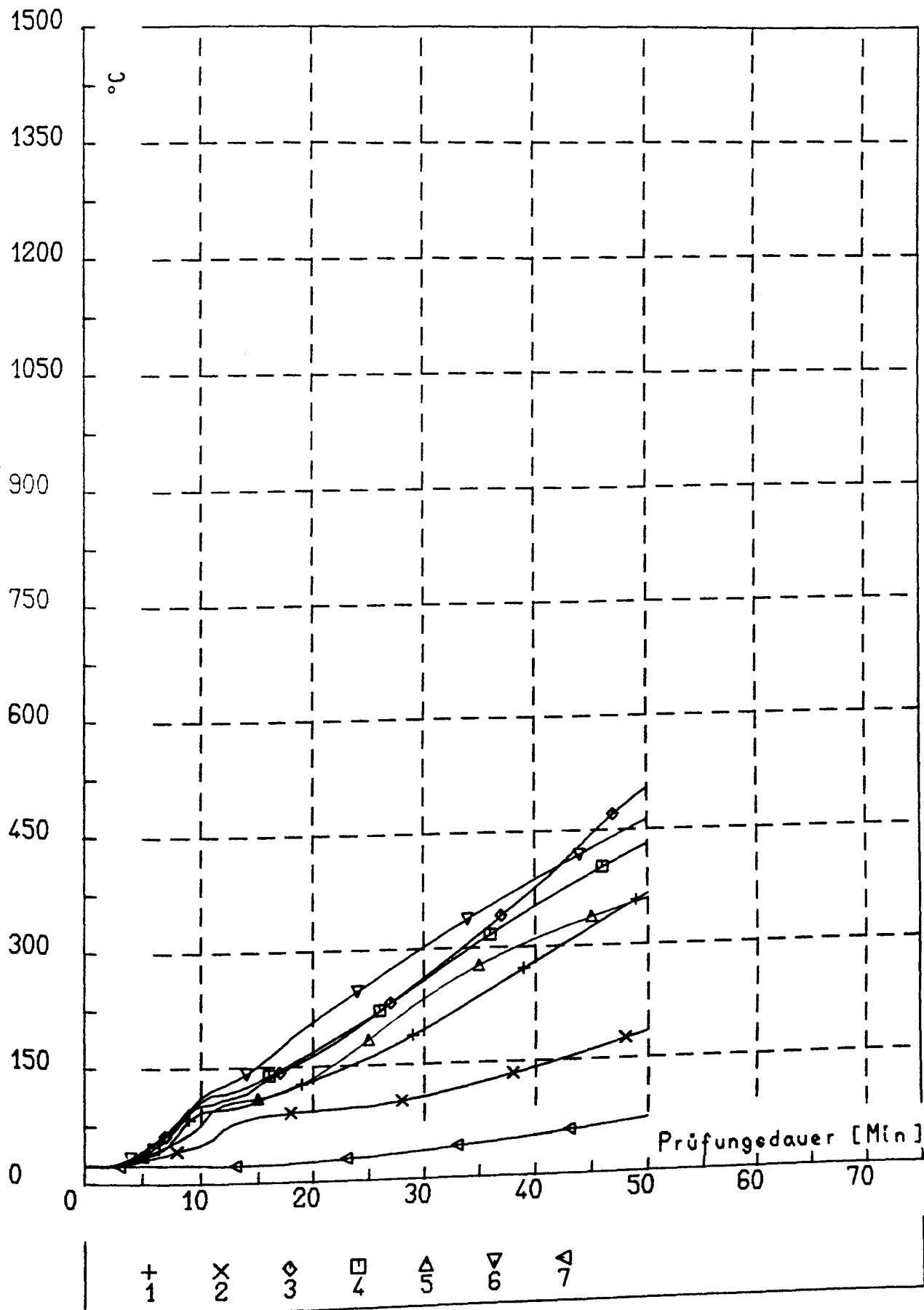
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 20°C

Stütze 2

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 22 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

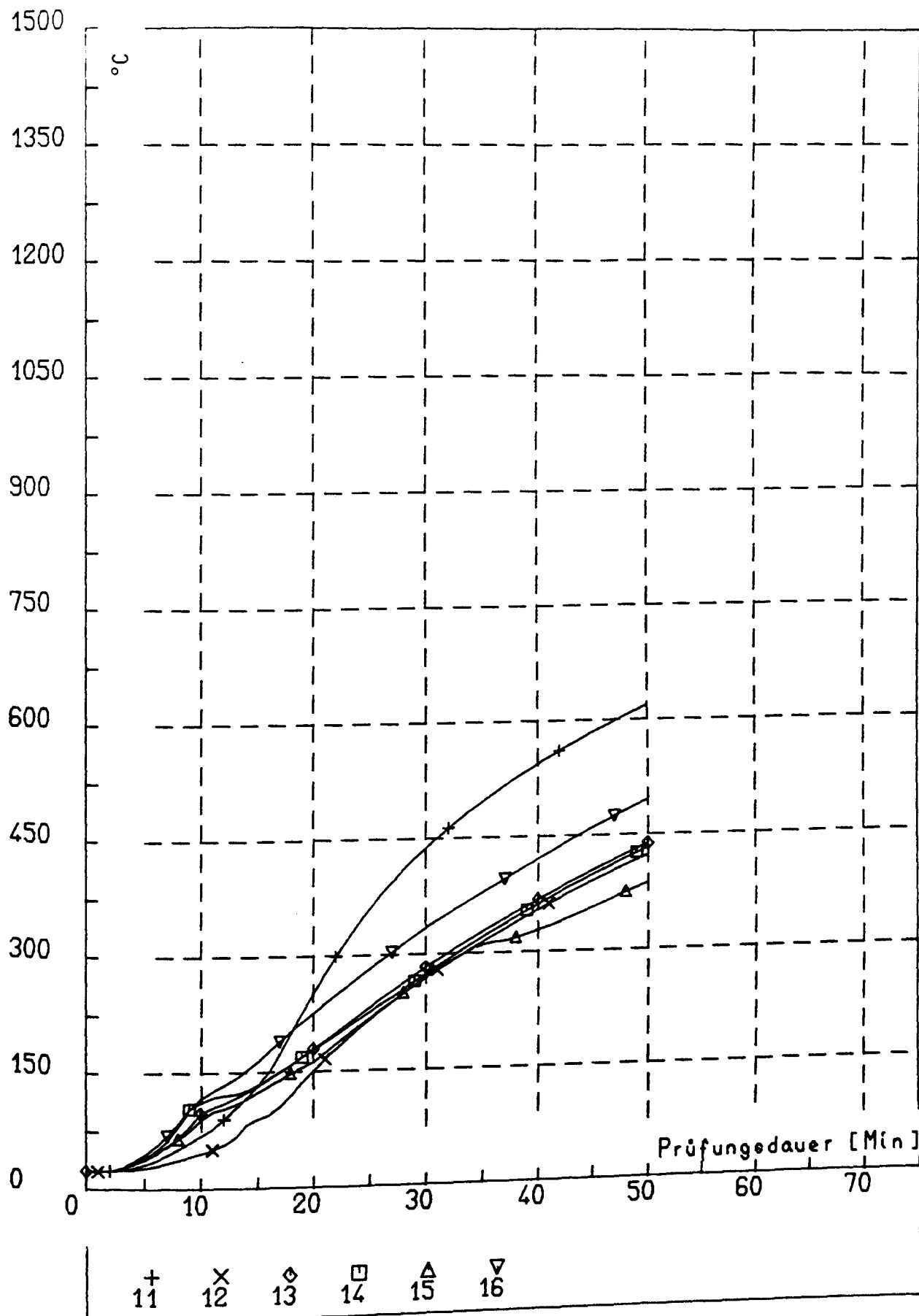
STUETZE-2



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

Anlage 23 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

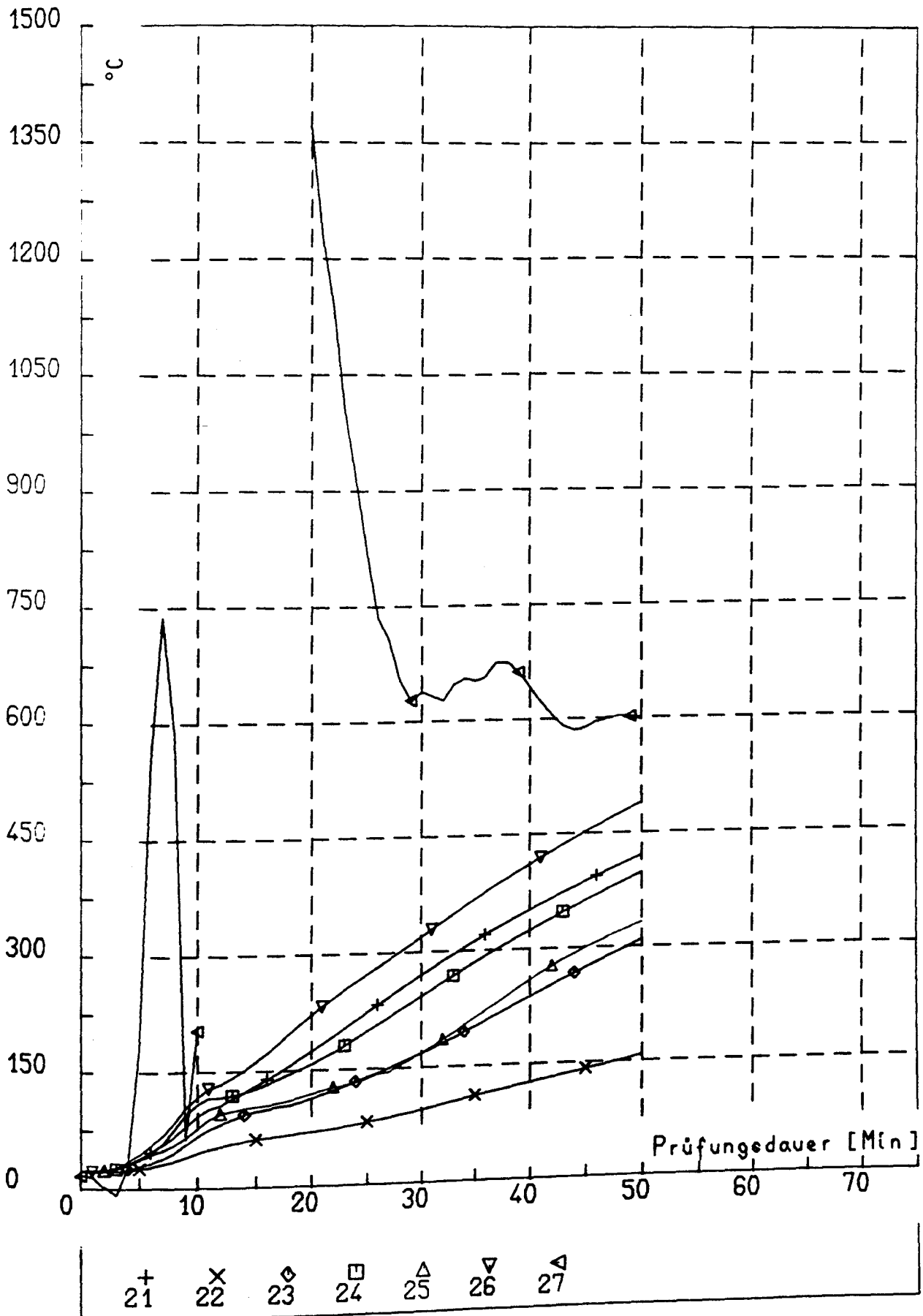
STUETZE-2



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

Anlage 24 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

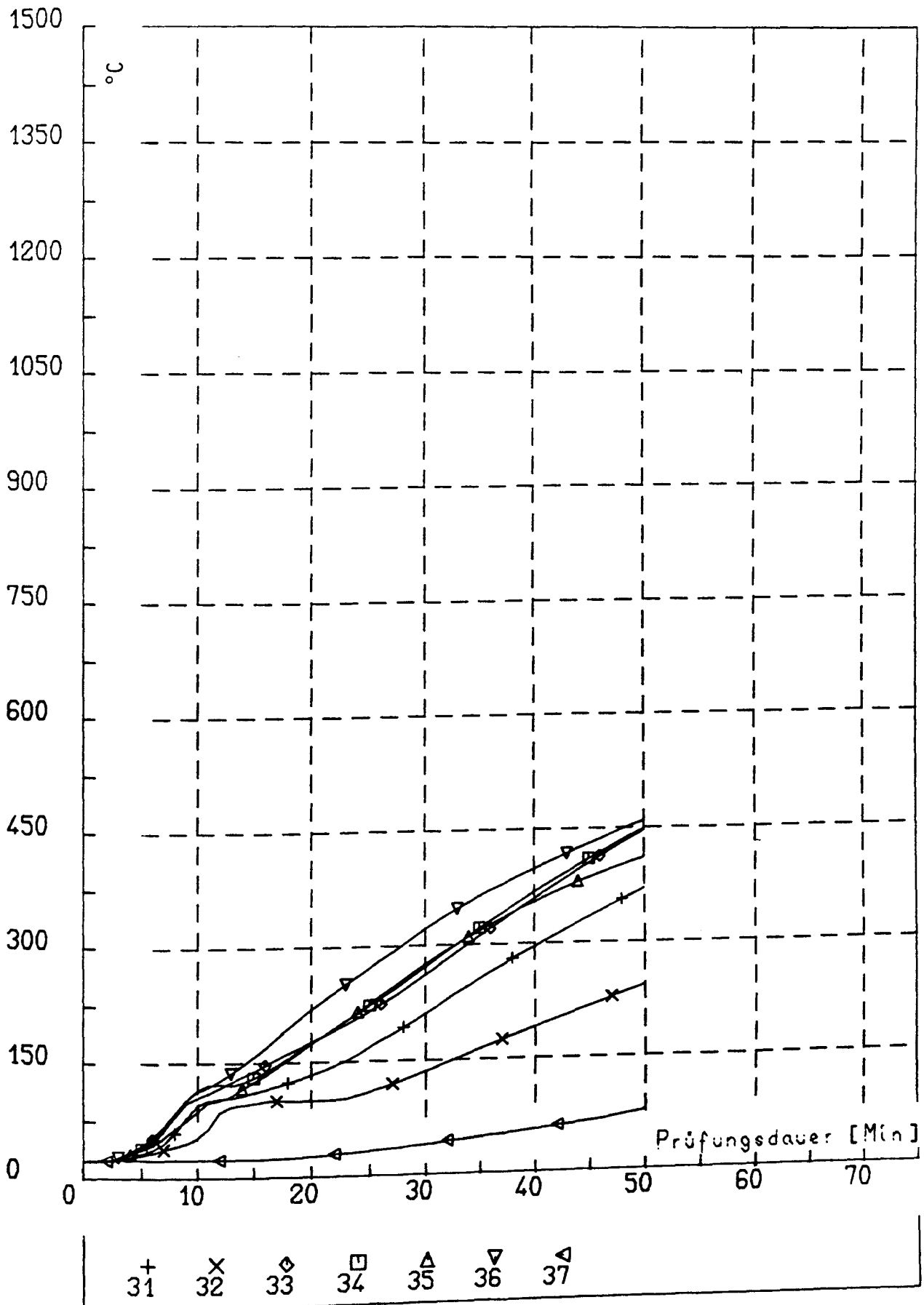
STUETZE-2



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

Anlage 25 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBl-72.02-
Nr. 190/86

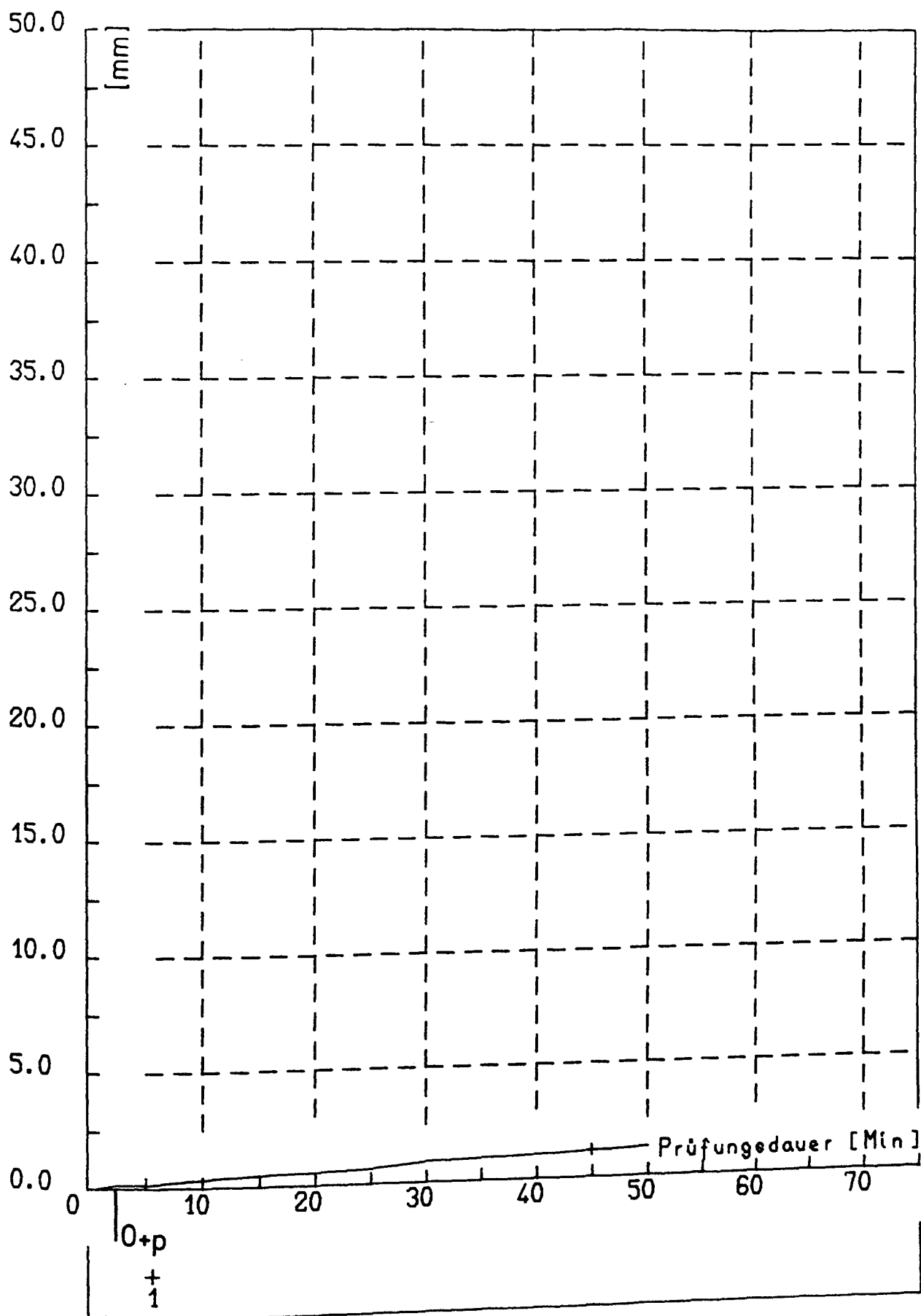
STUETZE-2



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

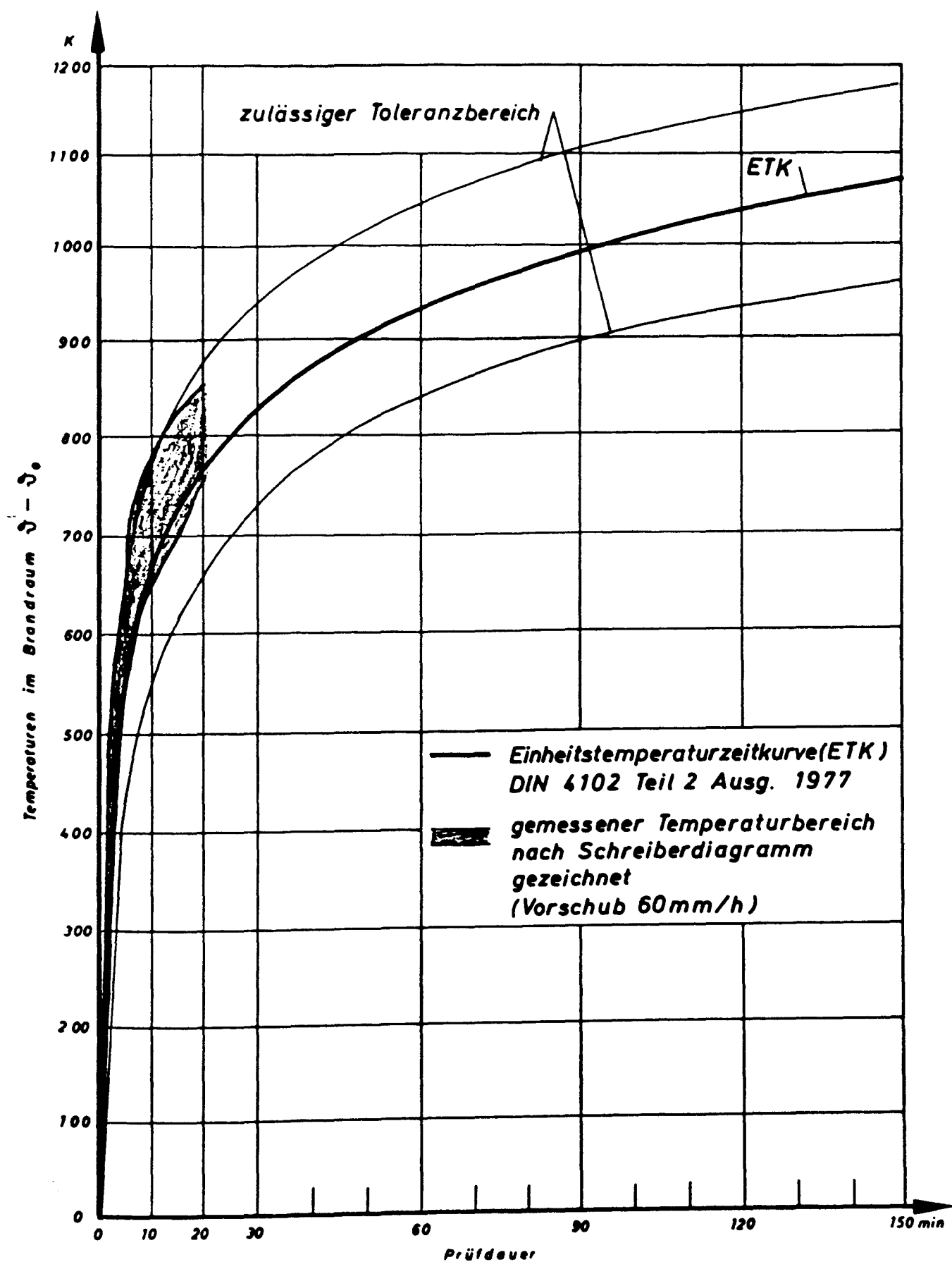
Anlage 26 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZE-2 VERFORMUNG -w



VERFORMUNGEN
PRÜFUNG 2

Anlage 27 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



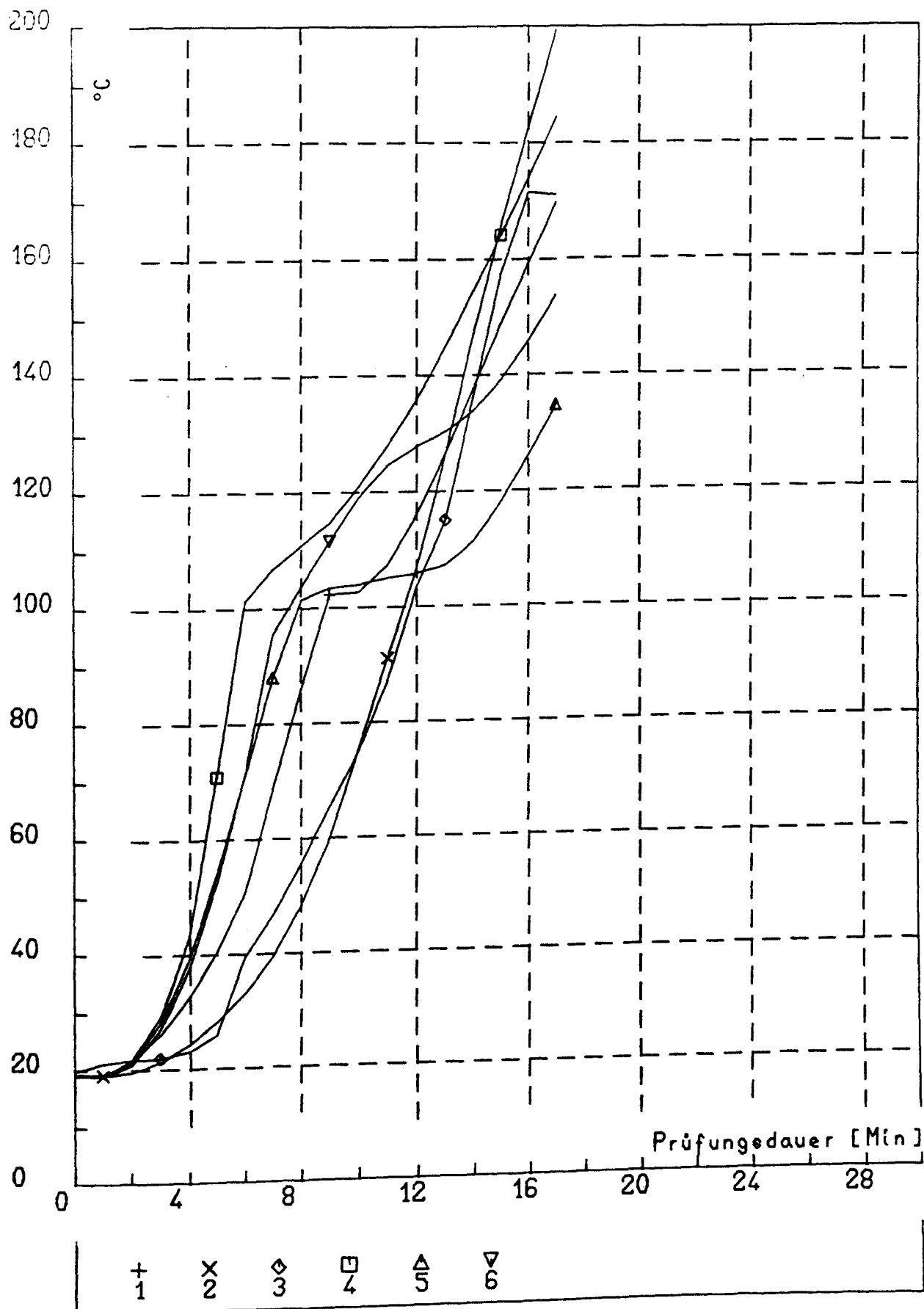
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 21°C

Stützenabschnitt 1

Temperatures im Brandraum
Prüfung

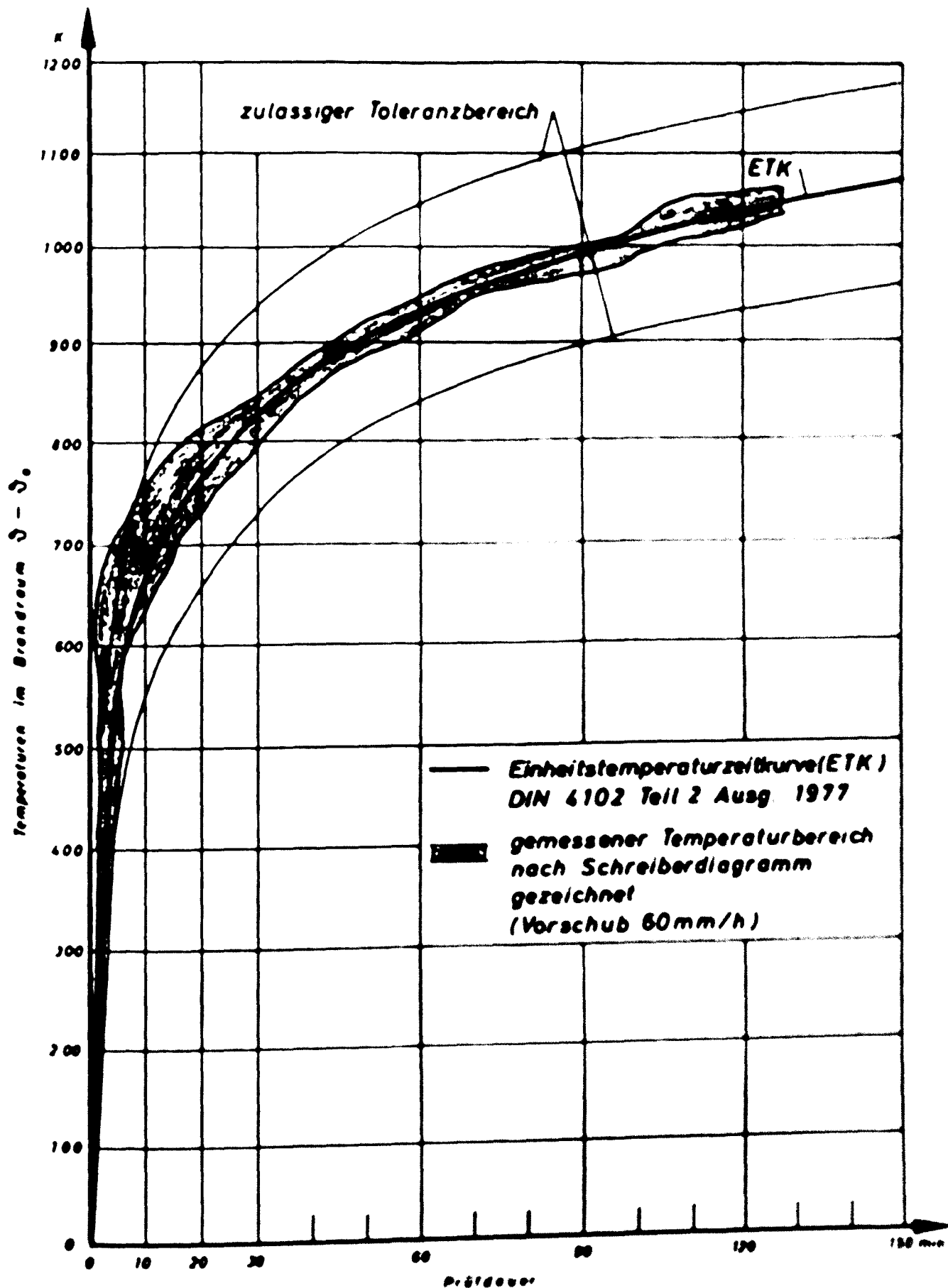
Anlage 28 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT-1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 29 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



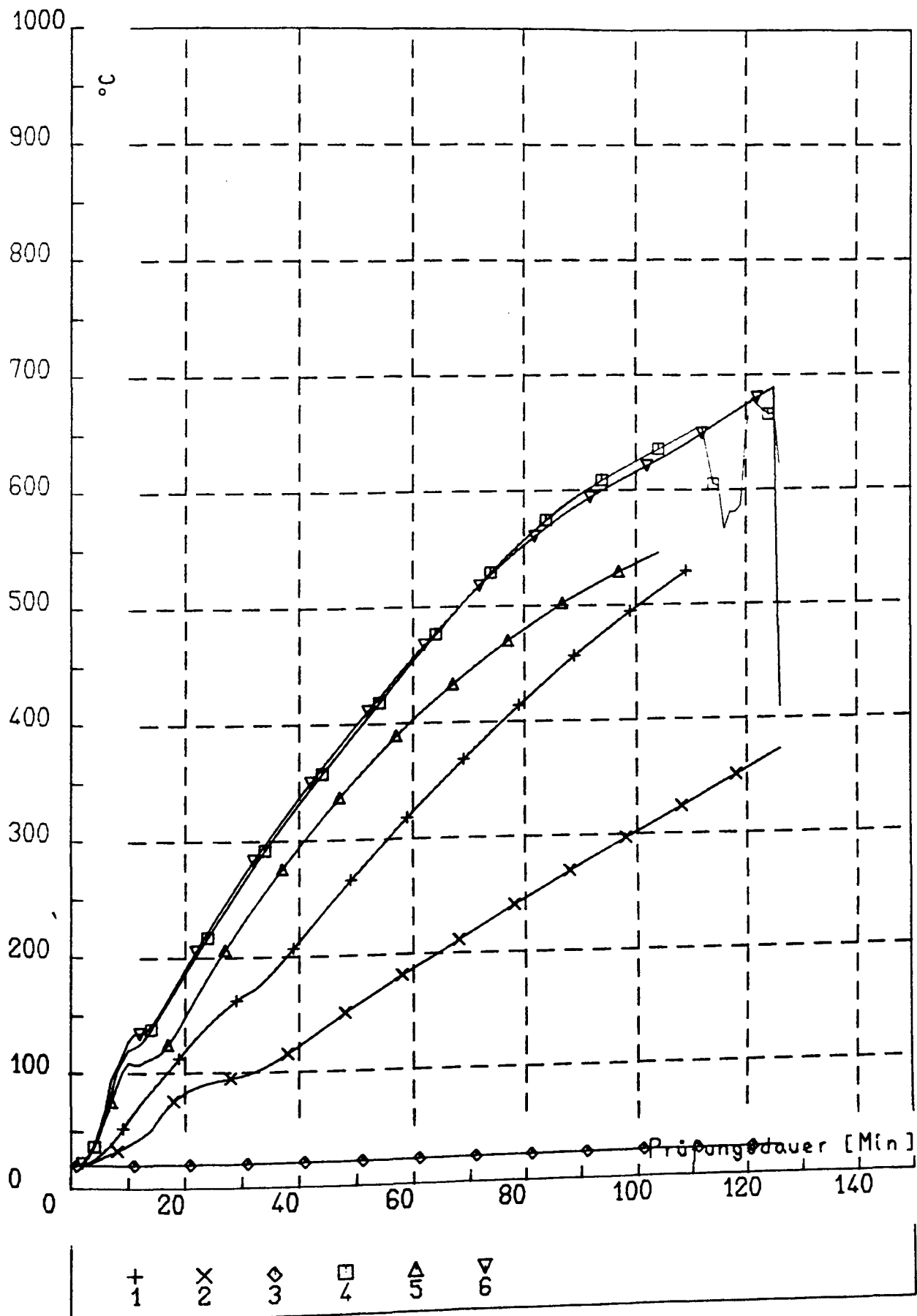
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 20°C

Stützenabschnitt 2

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

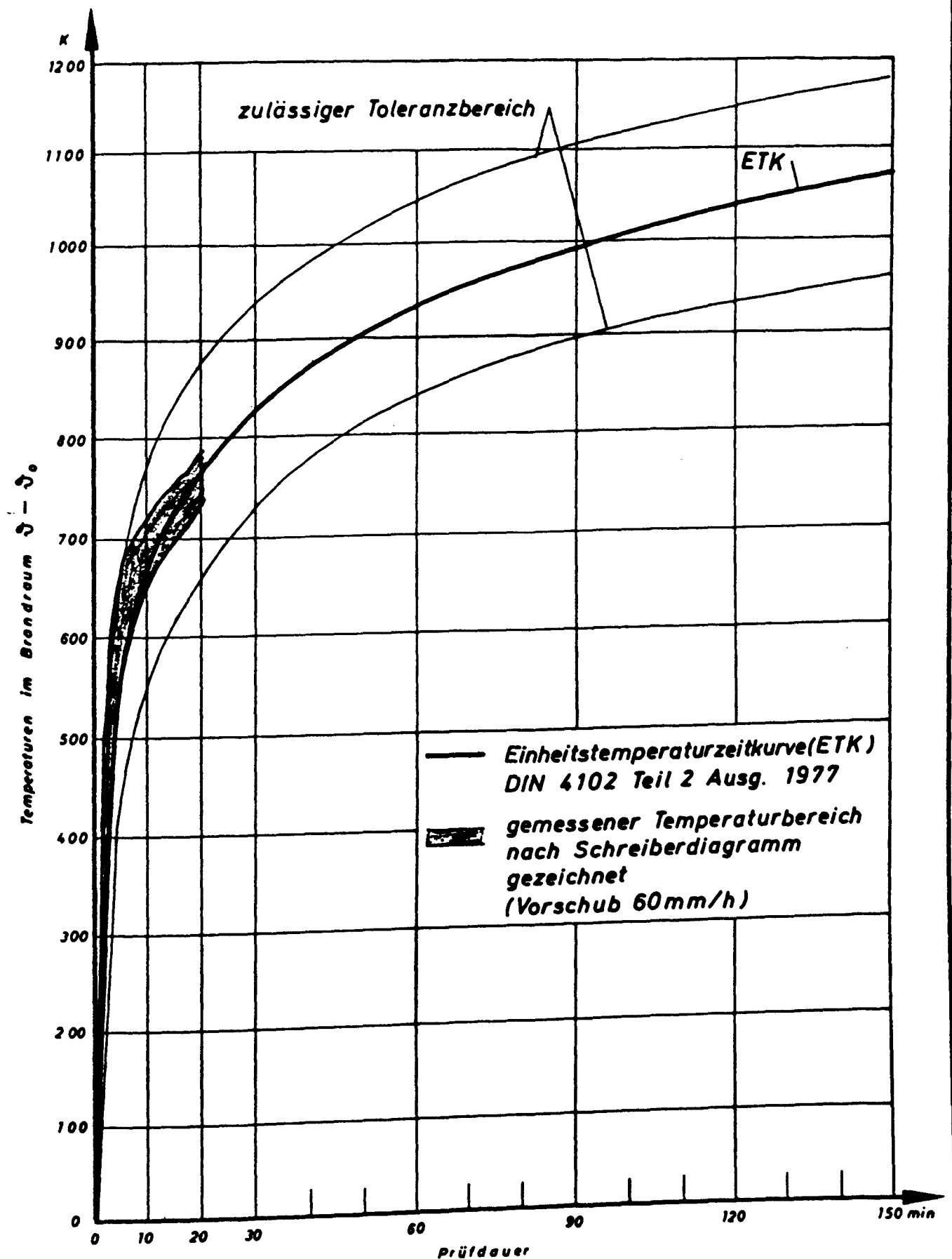
Anlage 30 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT-2



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

Anlage 31 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



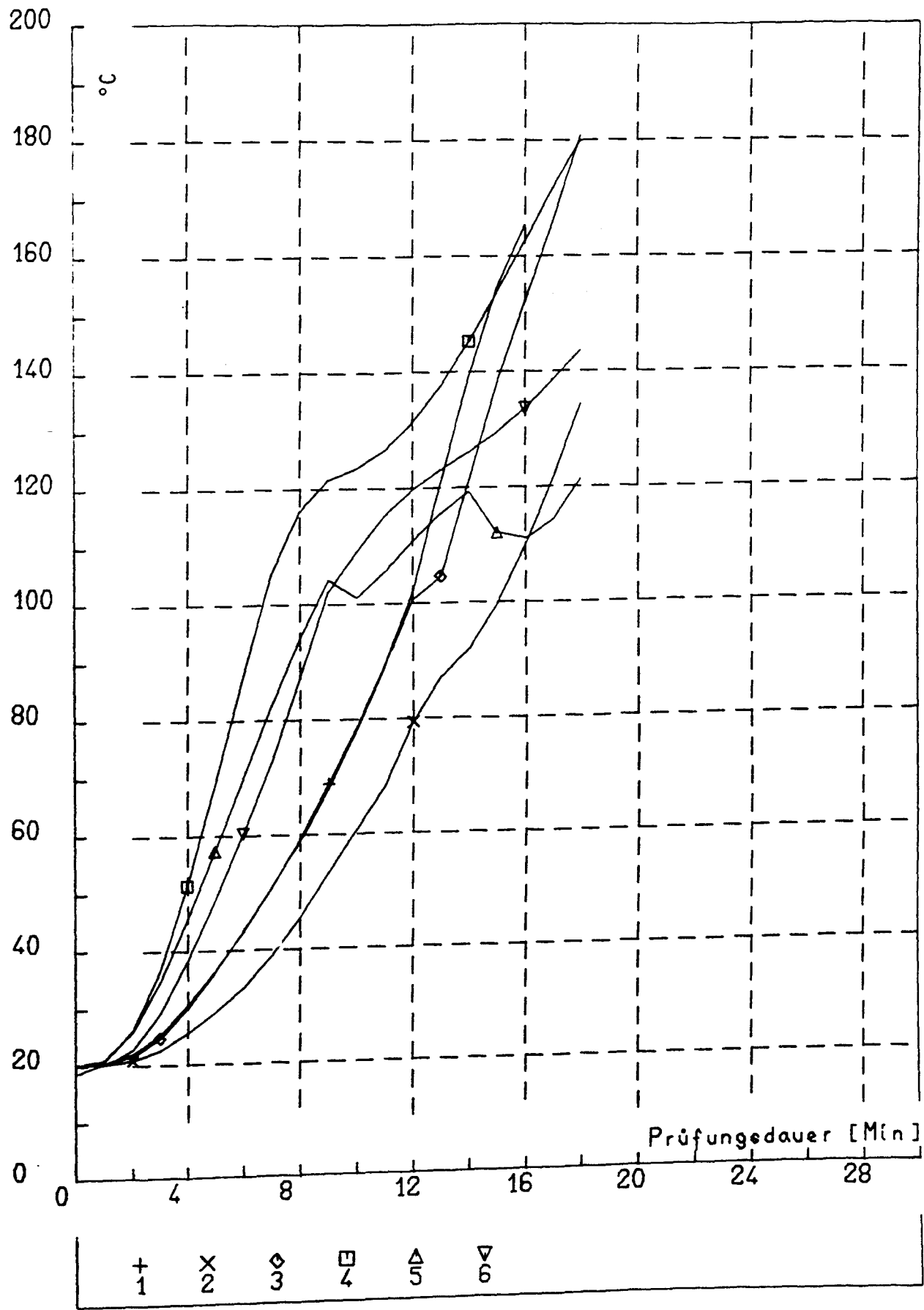
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 18°C

Stützenabschnitt 3

**Temperatures im Brandraum
Prüfung**

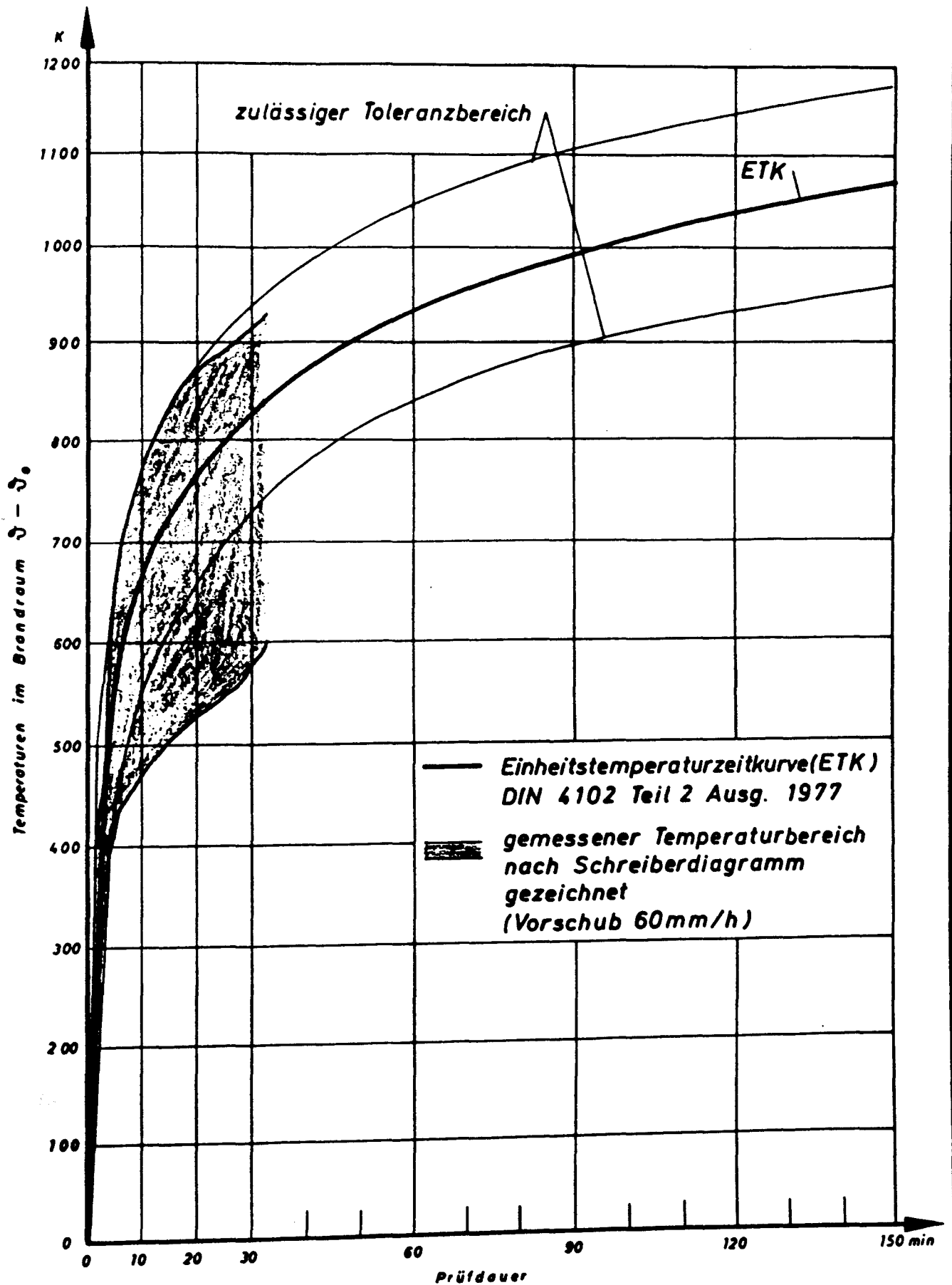
Anlage 32 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT-3



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 3

Anlage 33 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBl-72.02-
Nr. 190/86

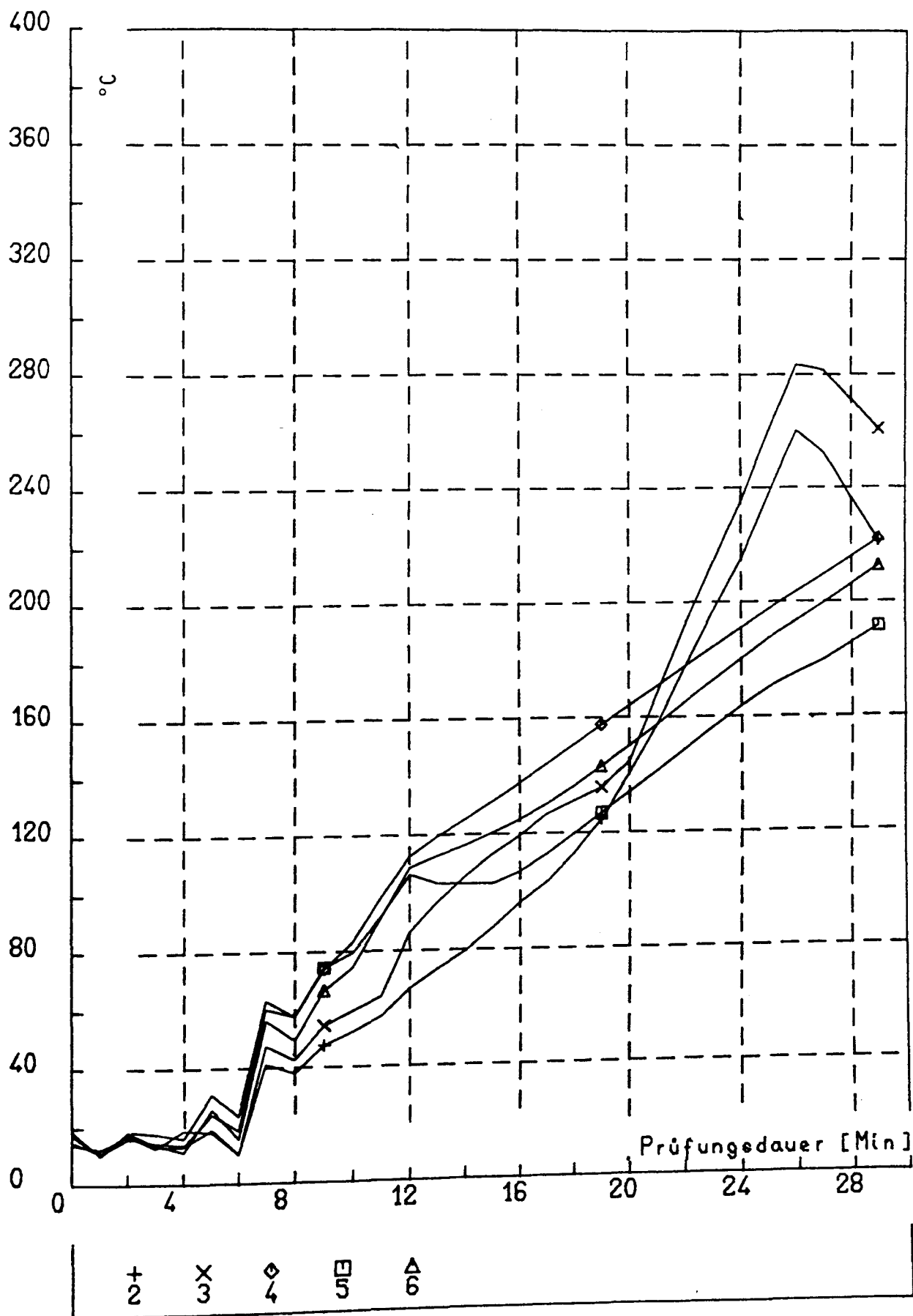


Stützenabschnitt 3a

Temperatures im Brandraum
Prüfung

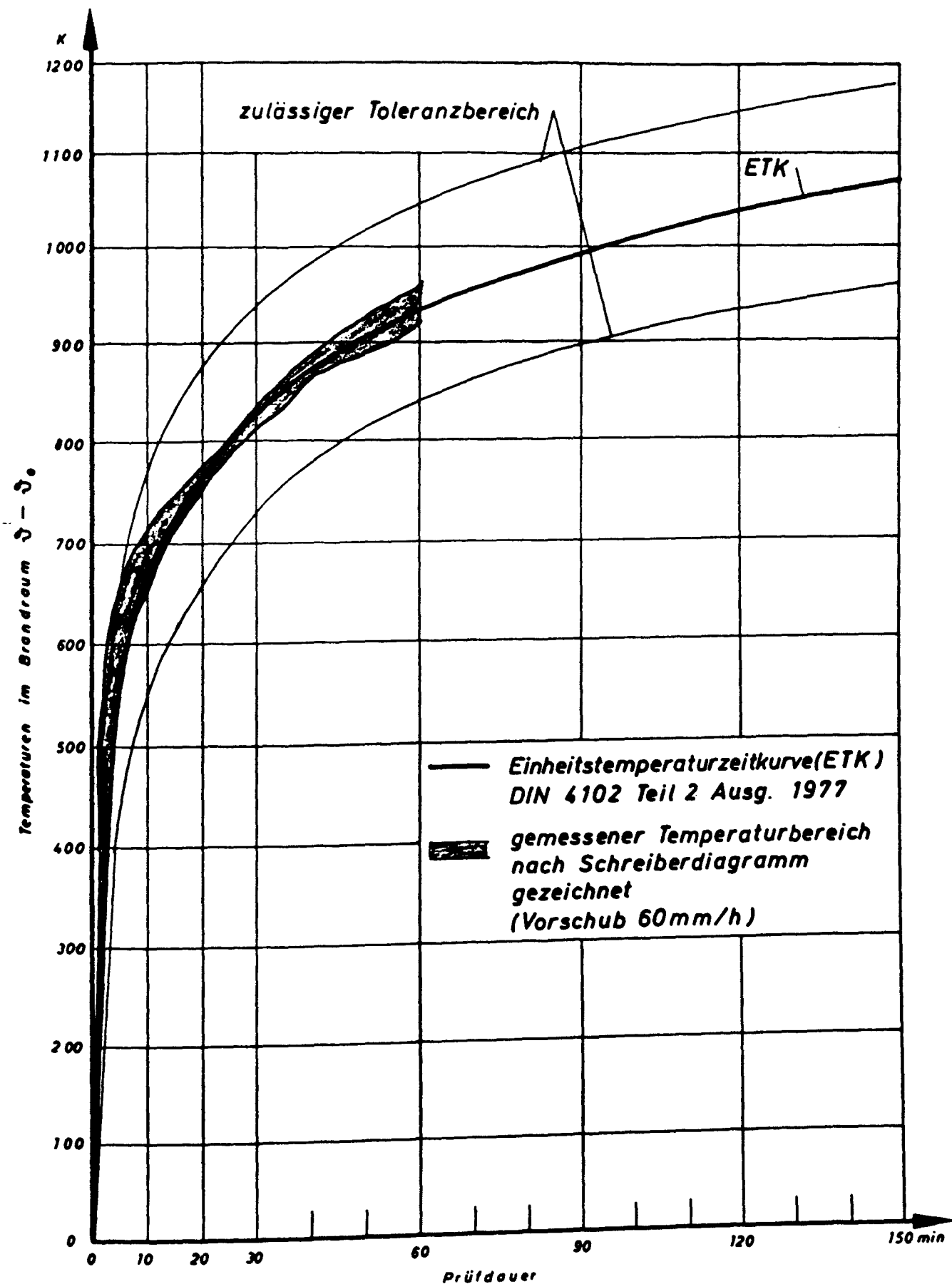
Anlage 34 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT 3A



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 3

Anlage 35 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



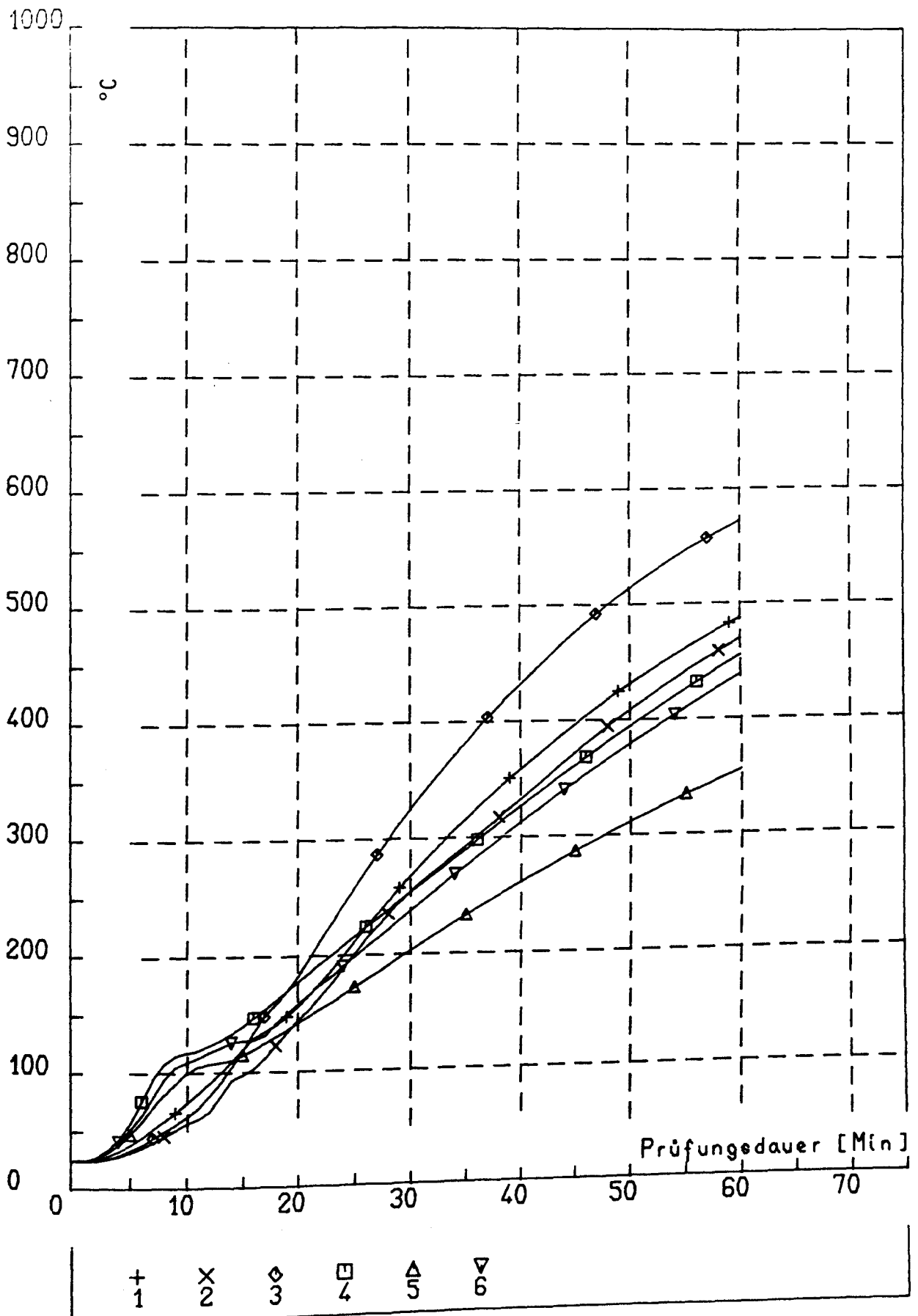
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 20°C

Stützenabschnitt 4

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

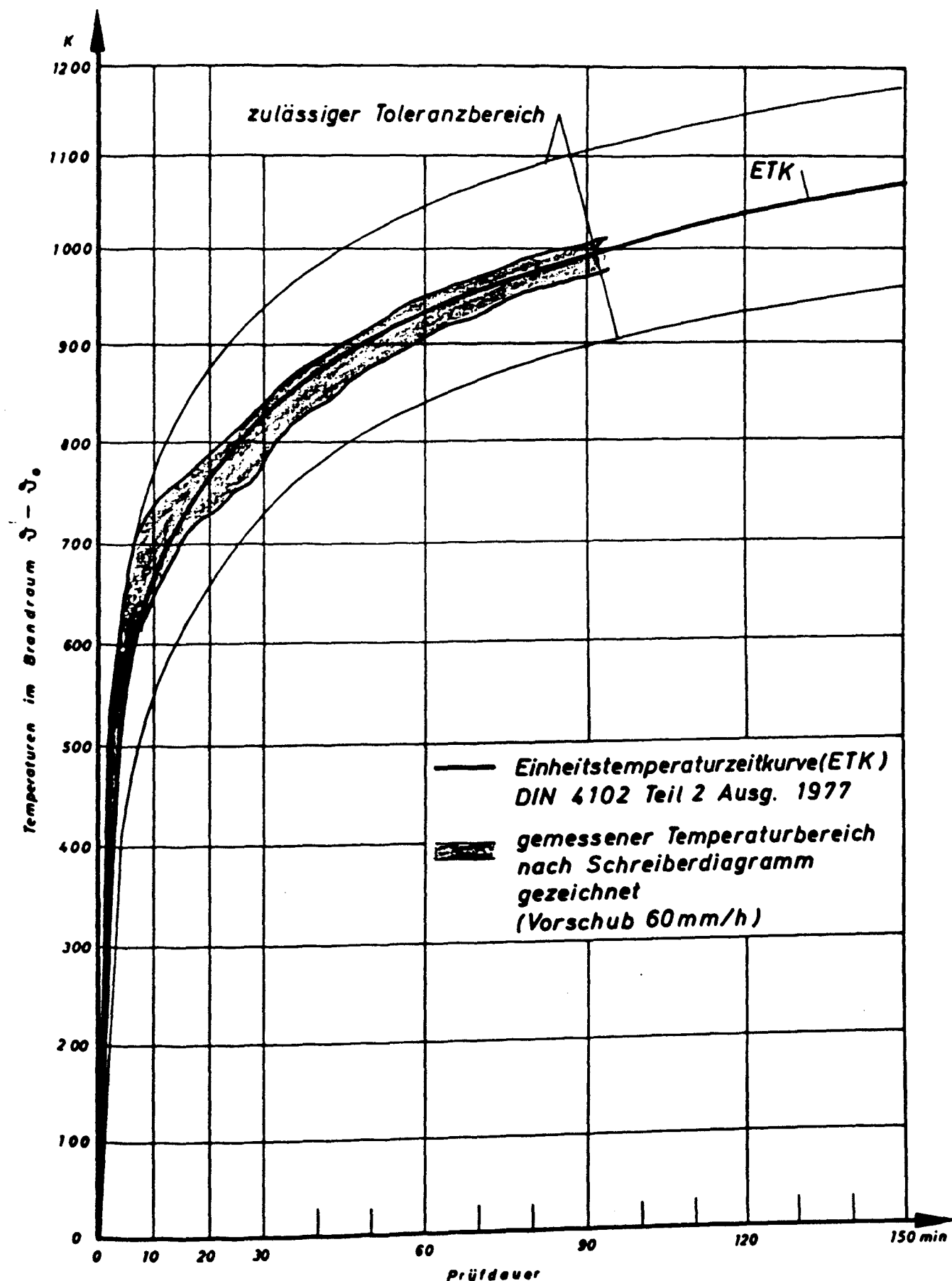
Anlage 36 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT-4



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 4

Anlage 37 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

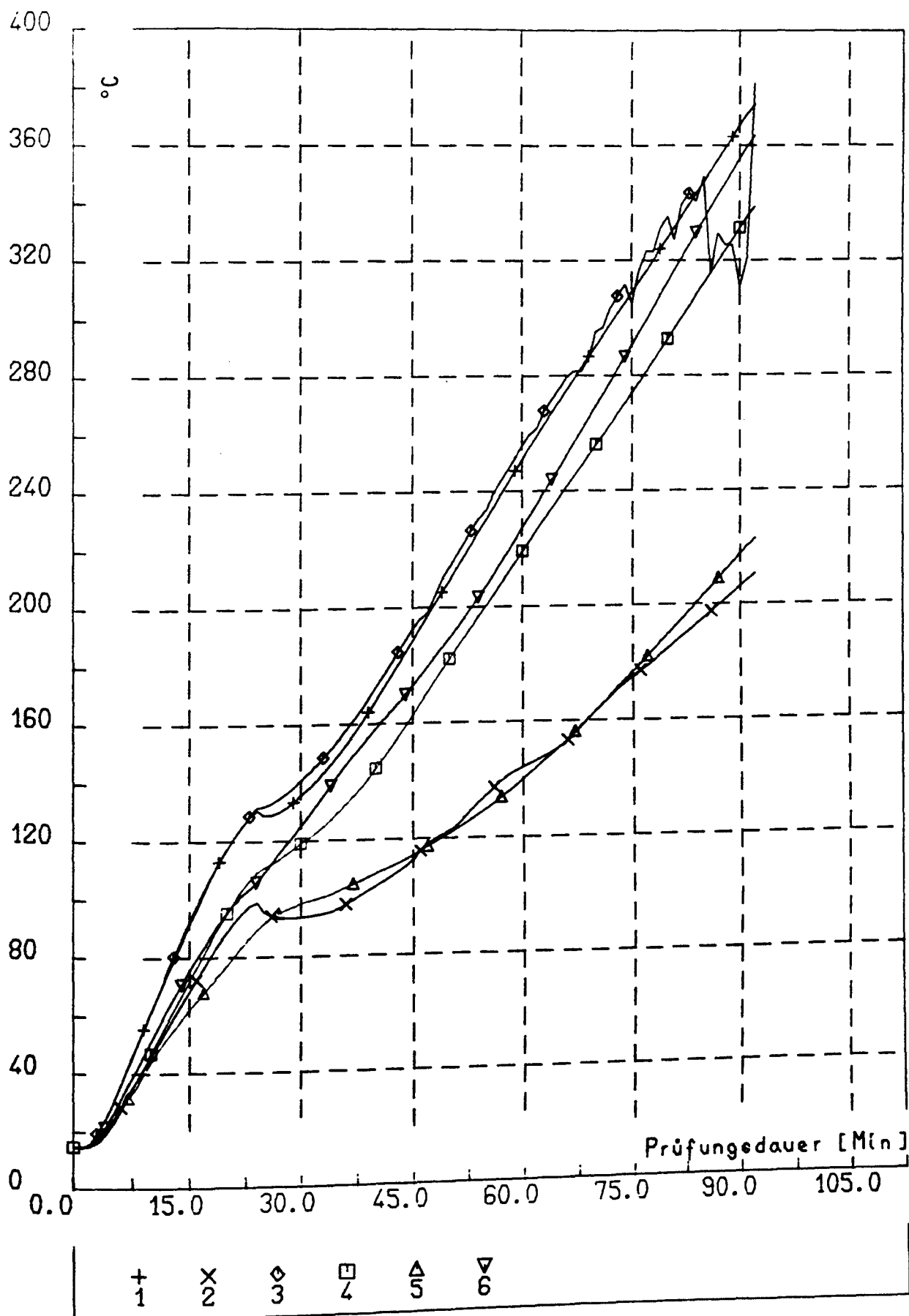


Stützenabschnitt 5

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

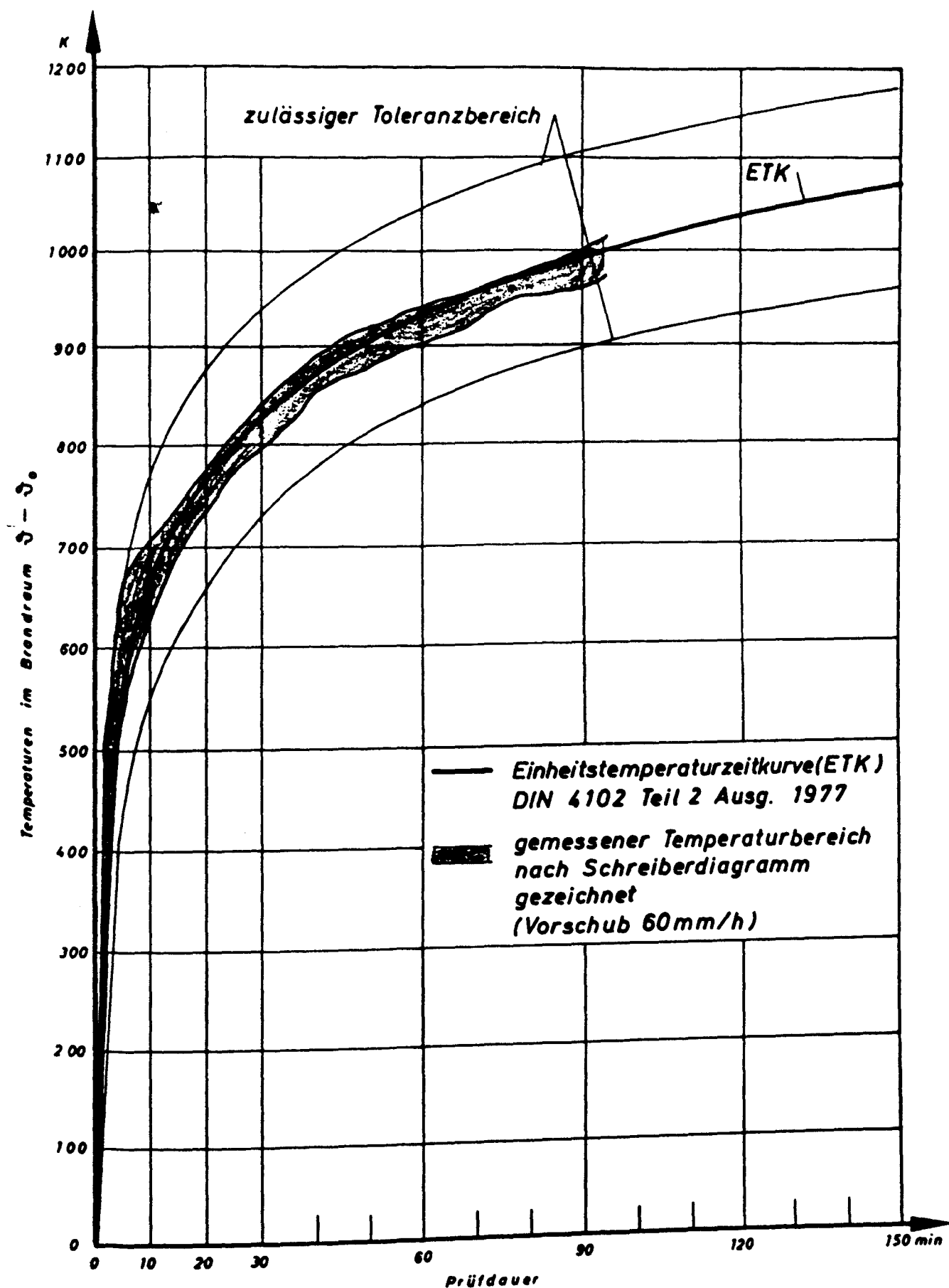
Anlage 38 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT-5



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 5

Anlage 39 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBl-72.02-
Nr. 190/86



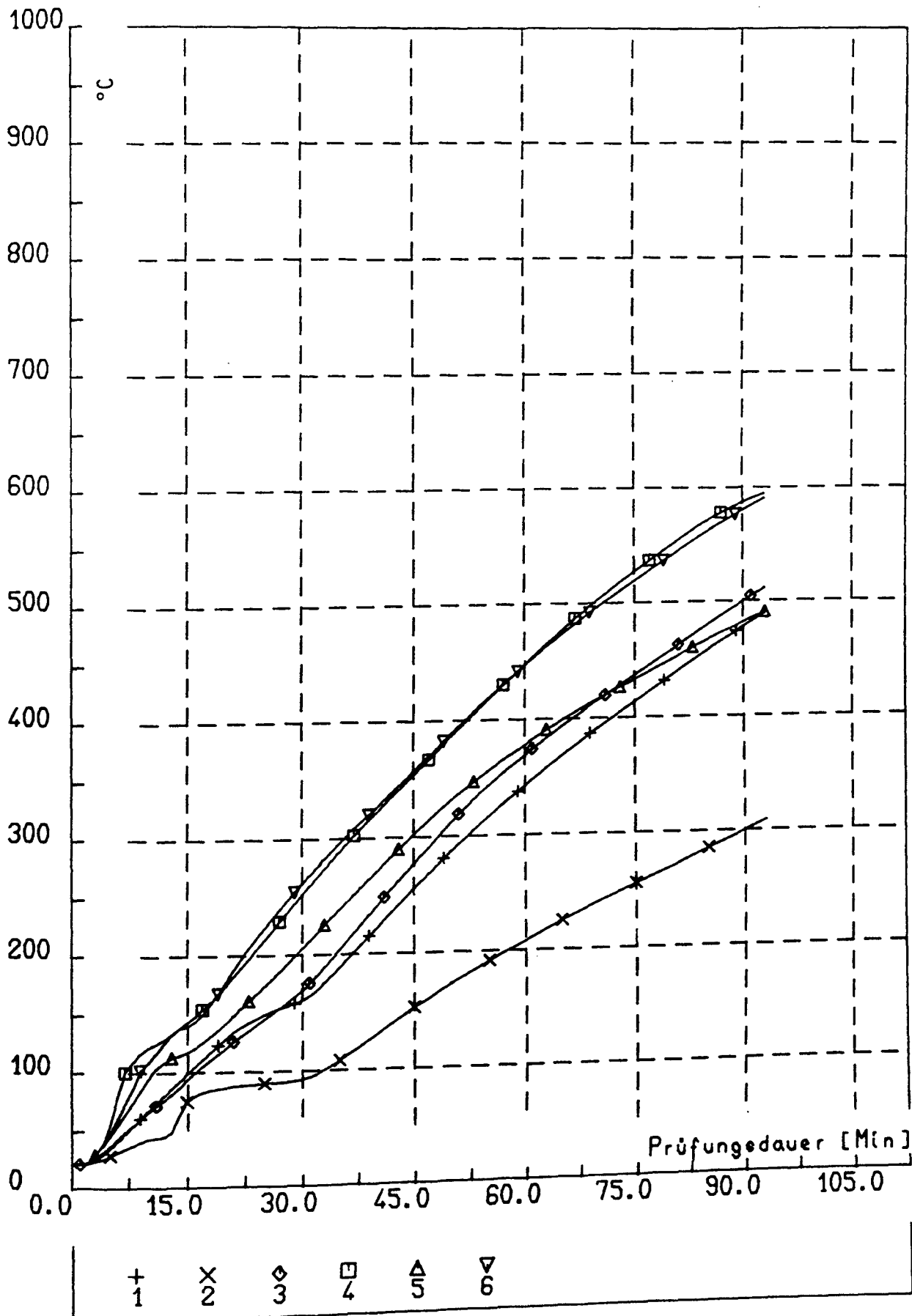
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 20°C

Stützenabschnitt 6

Temperatures im Brandraum
Prüfung

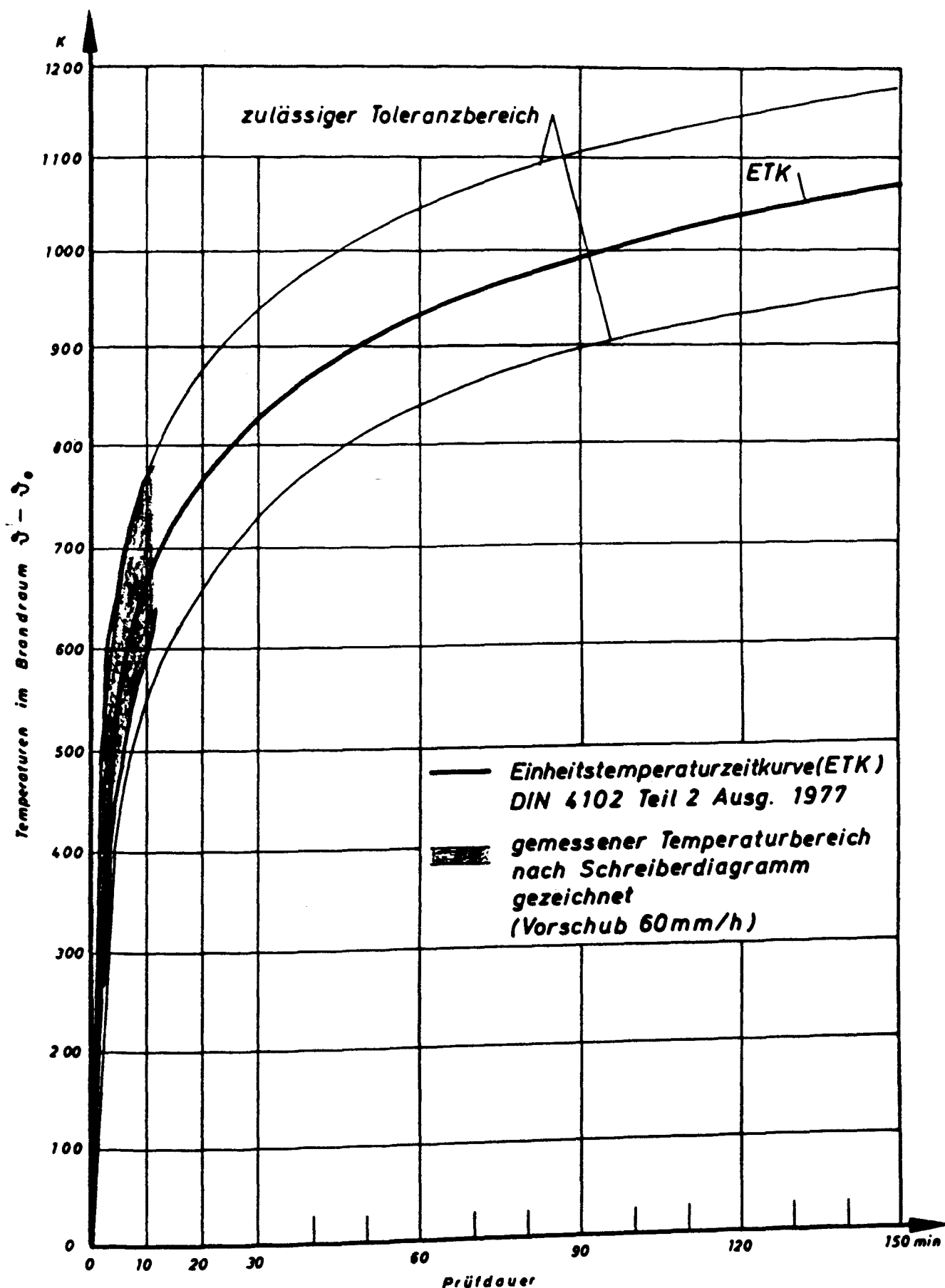
Anlage 40 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

STUETZENABSCHNITT-6



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 6

Anlage 41 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

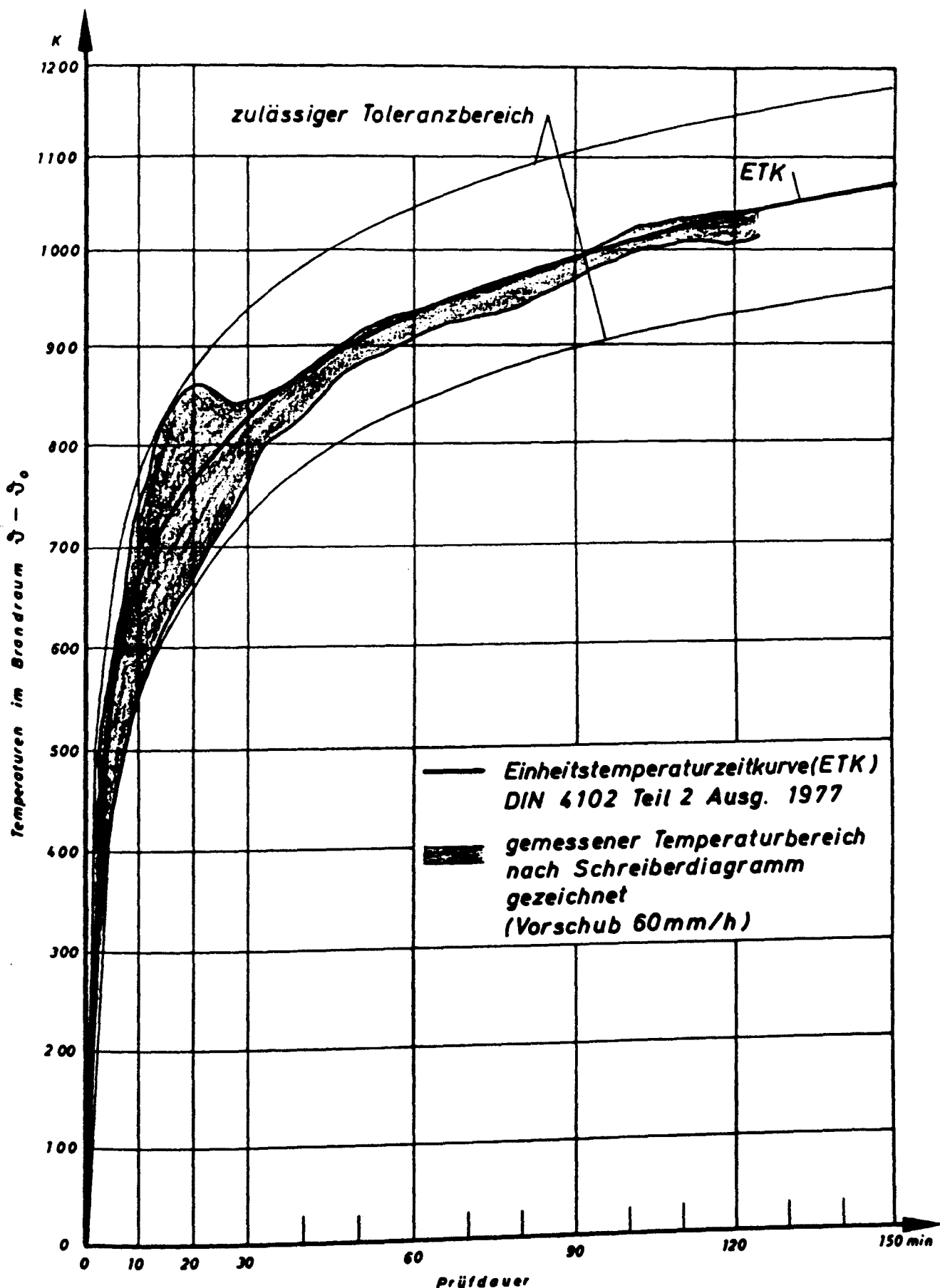


Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 20 °C

Stützenabschnitt 7

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 42 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

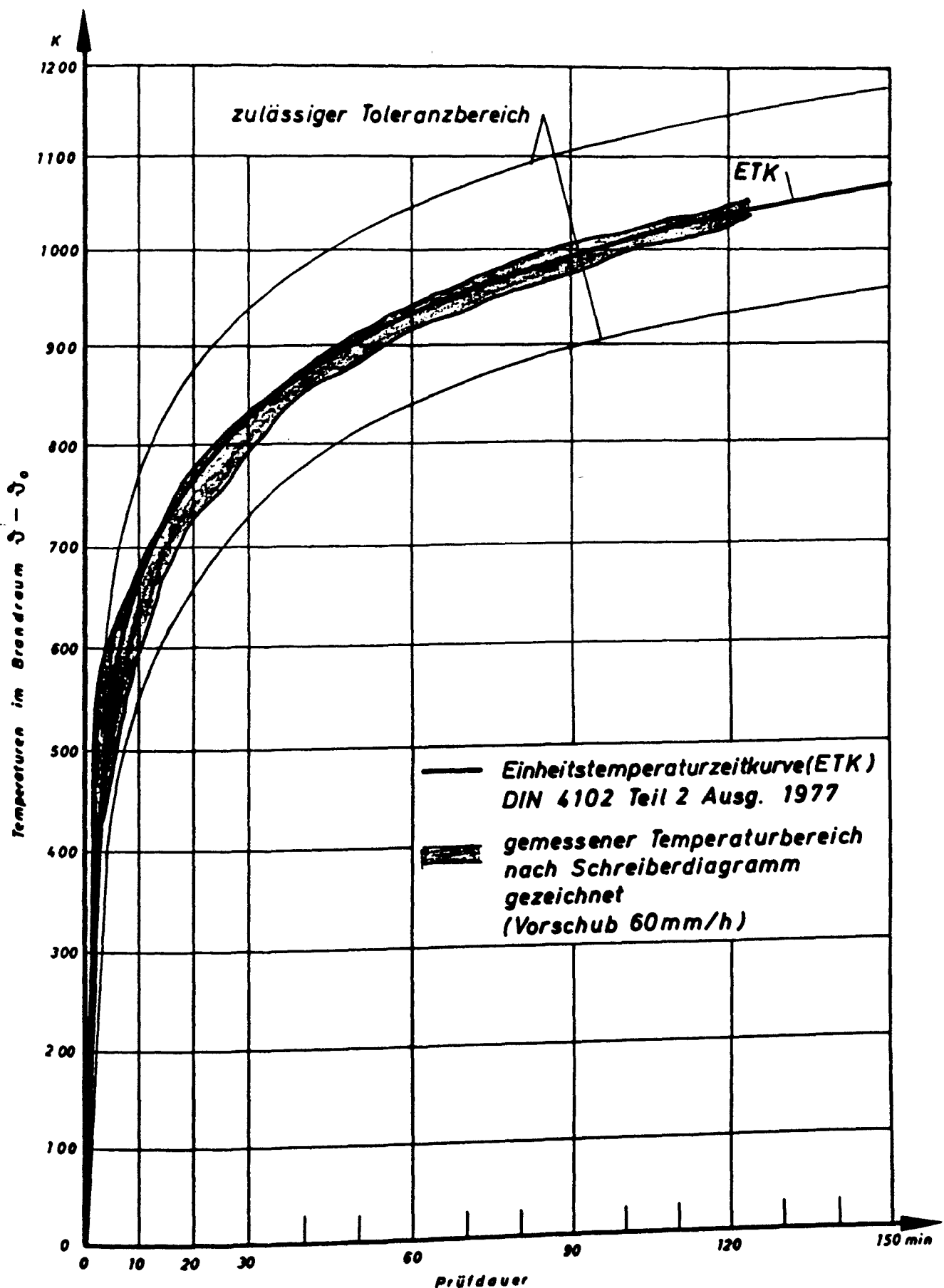


Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 22 °C

Stützenabschnitt 8

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 43 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBl-72.02-
Nr. 190/86

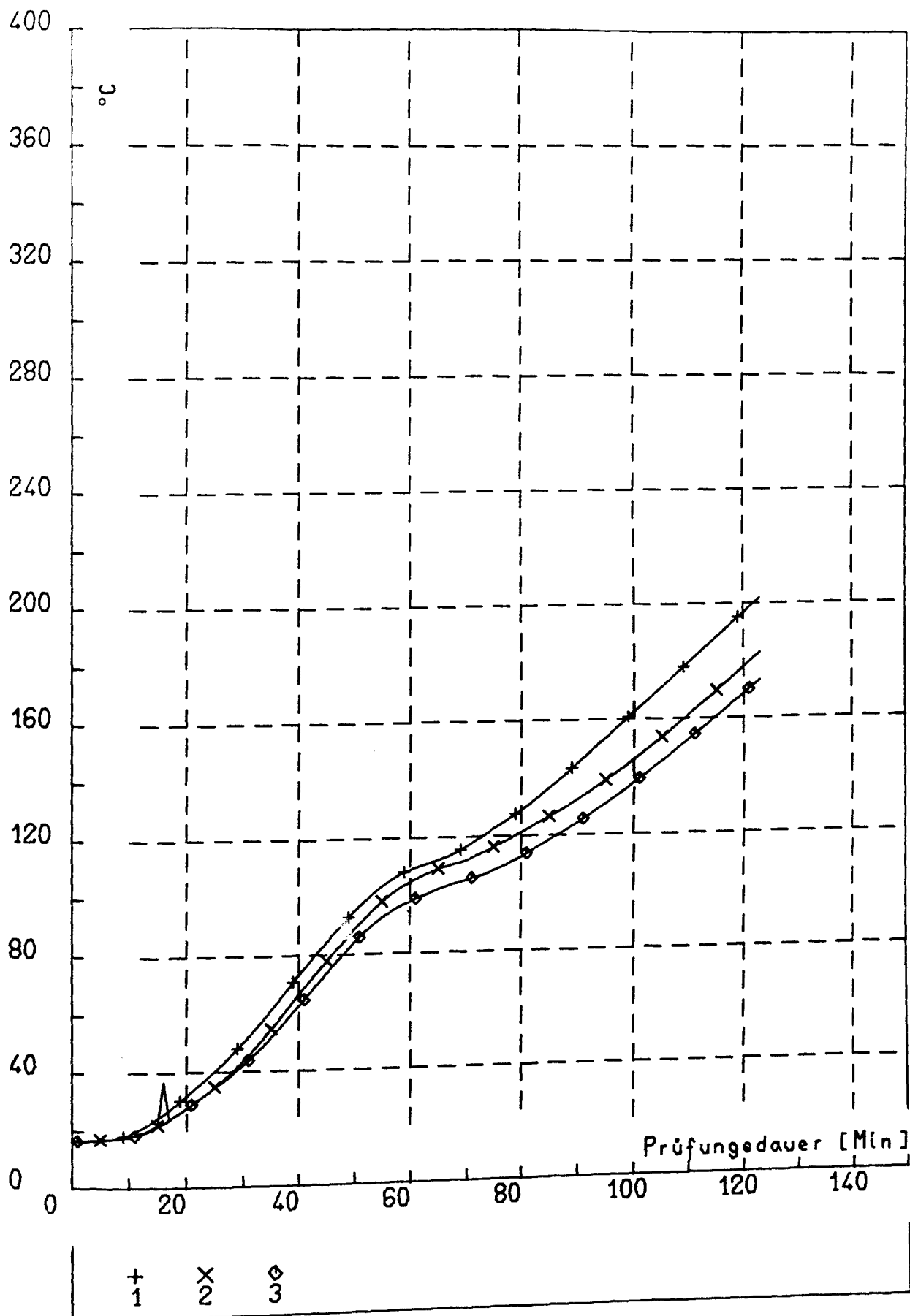


Plattenstreifen 1

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 44 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

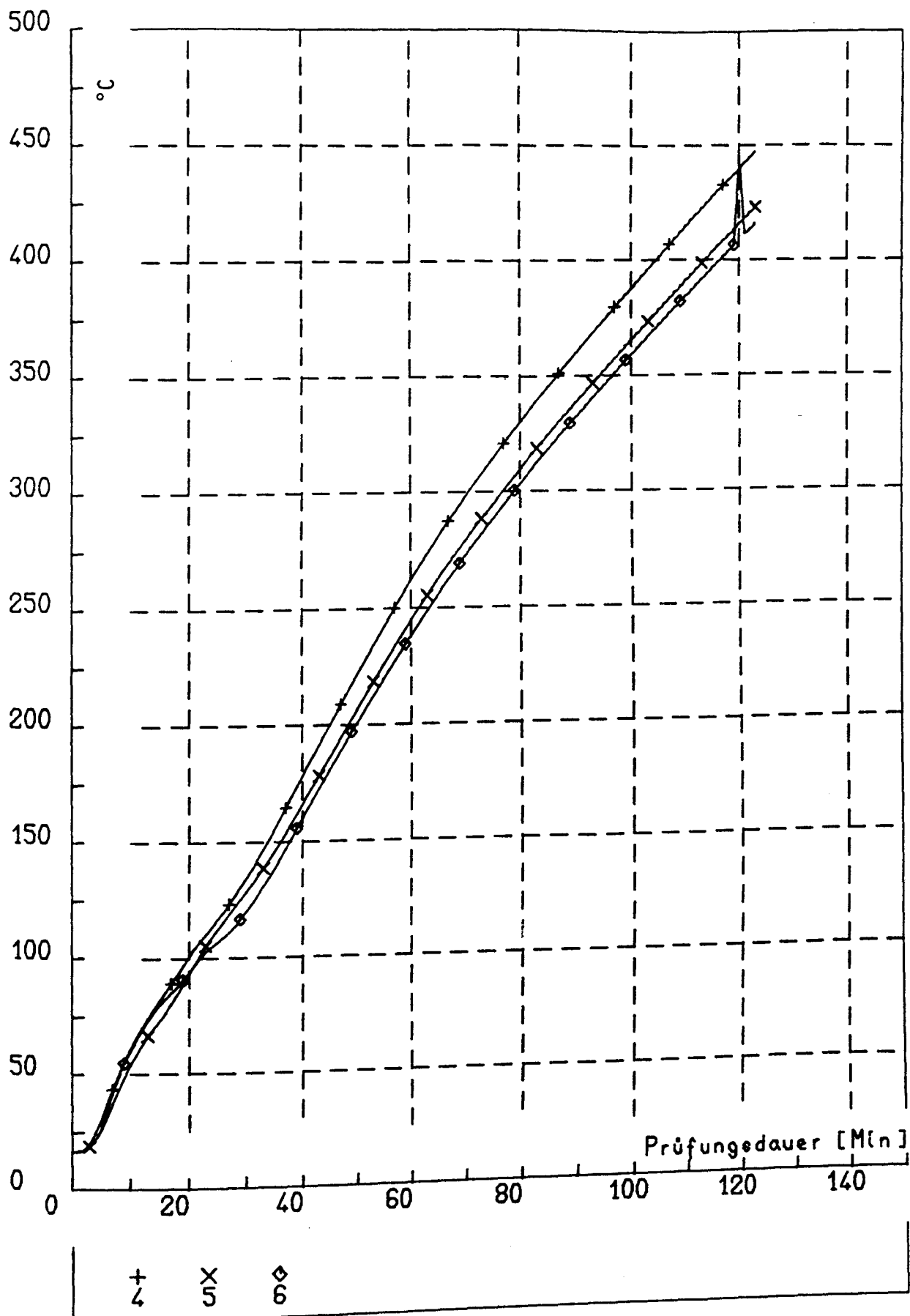
PLATTENSTREIFEN-1 0. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 45 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBl-72.02-
Nr. 190/86

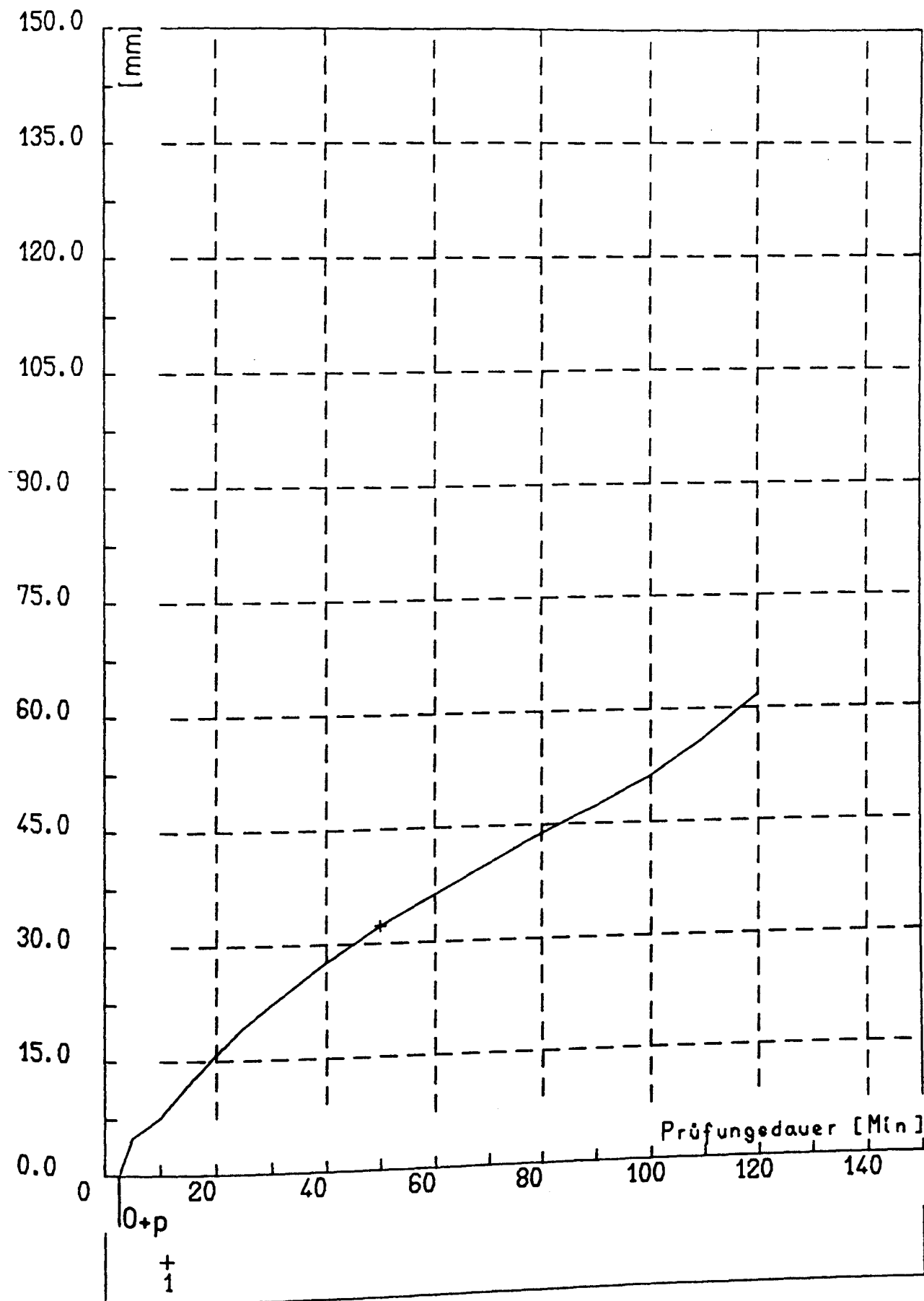
PLATTENSTREIFEN-1 U. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

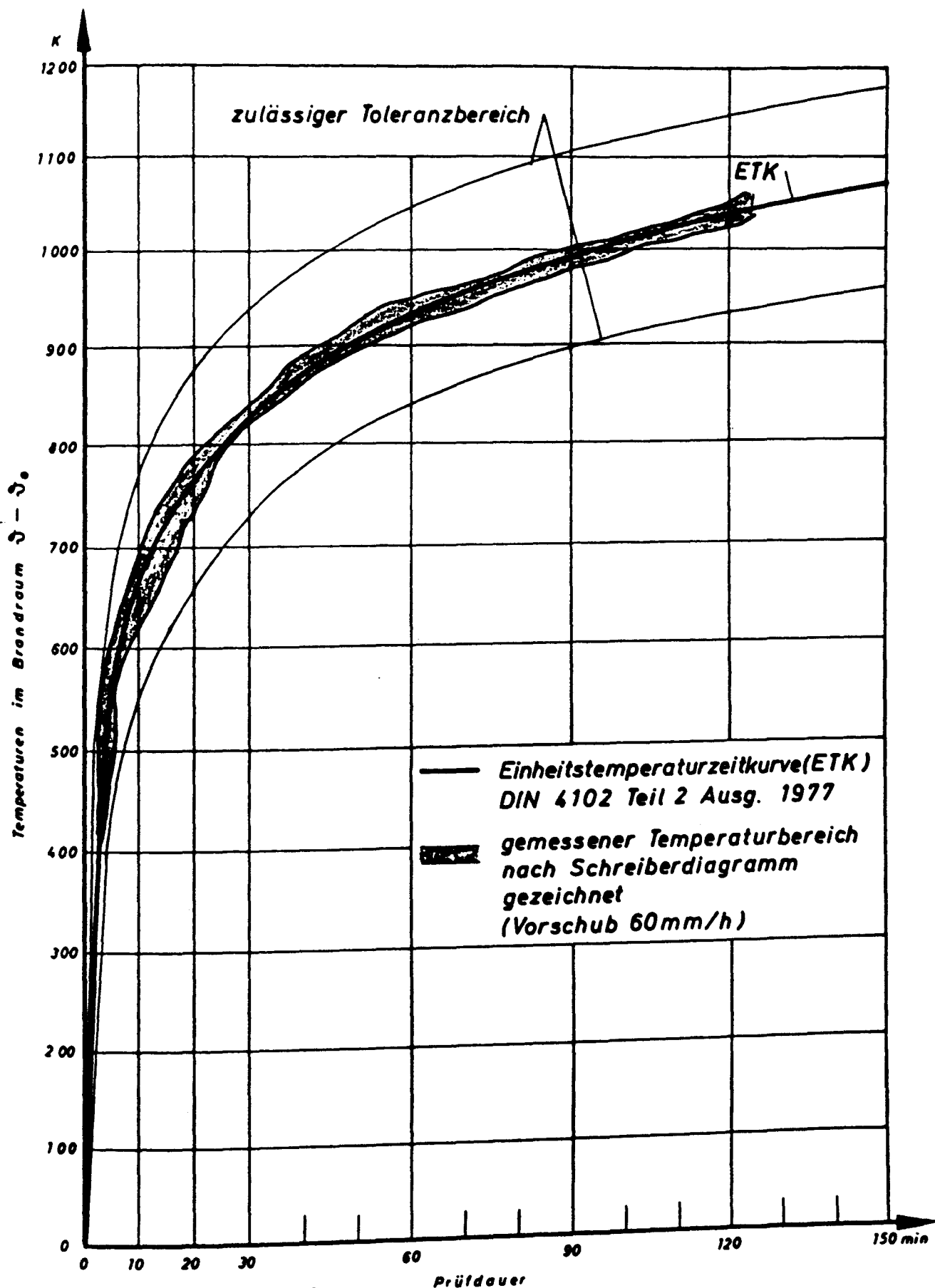
Anlage 46 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr.190/86

PLATTENSTREIFEN-1 VERFORMUNG



VERFORMUNGEN
PRÜFUNG 1

Anlage 47 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

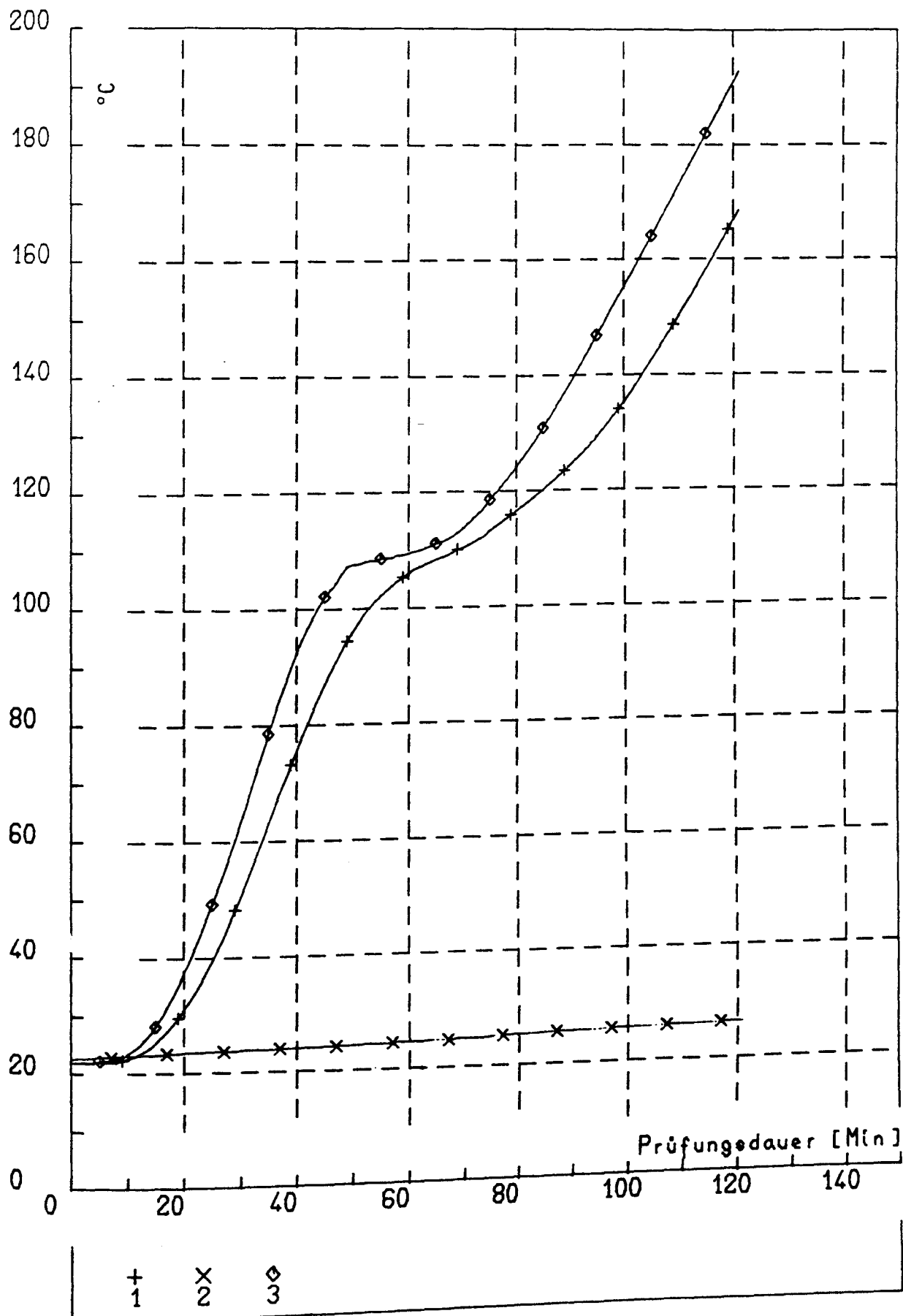


Plattenstreifen 2

**Temperatures im Brandraum
Prüfung**

Anlage 48 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

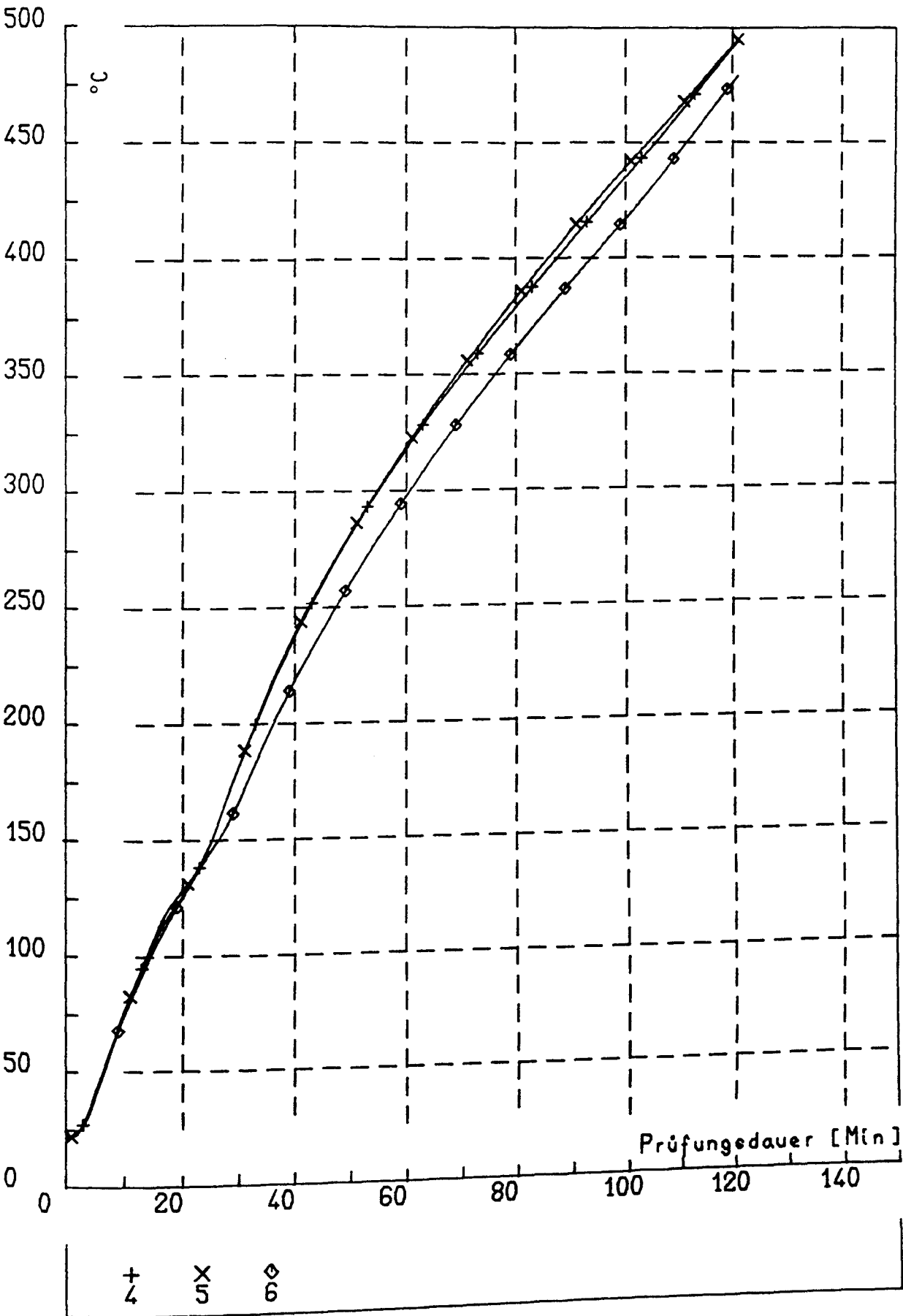
PLATTENSTREIFEN-2 0. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

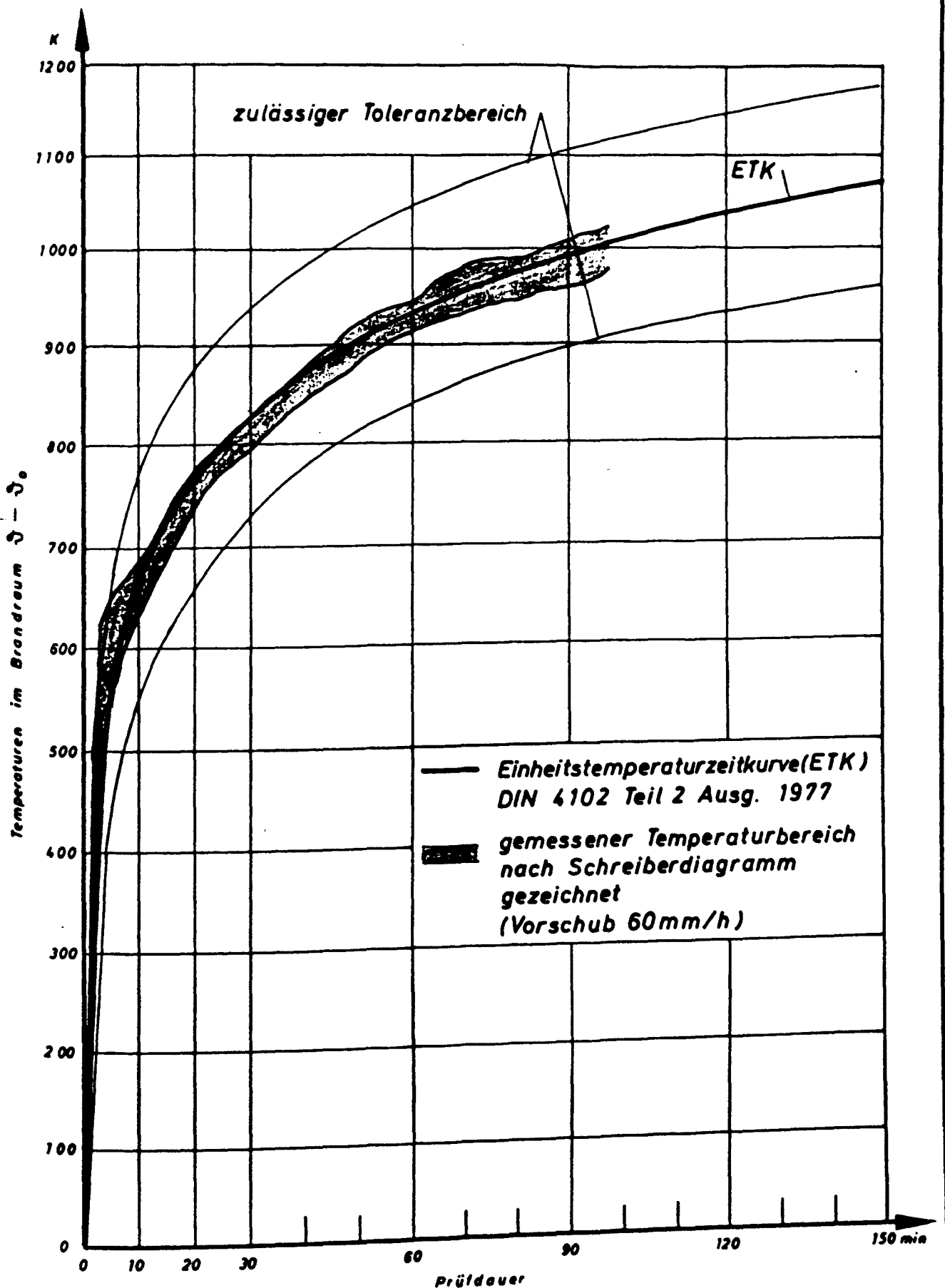
Anlage 49 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

PLATTENSTREIFEN-2 U. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 2

Anlage 50 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

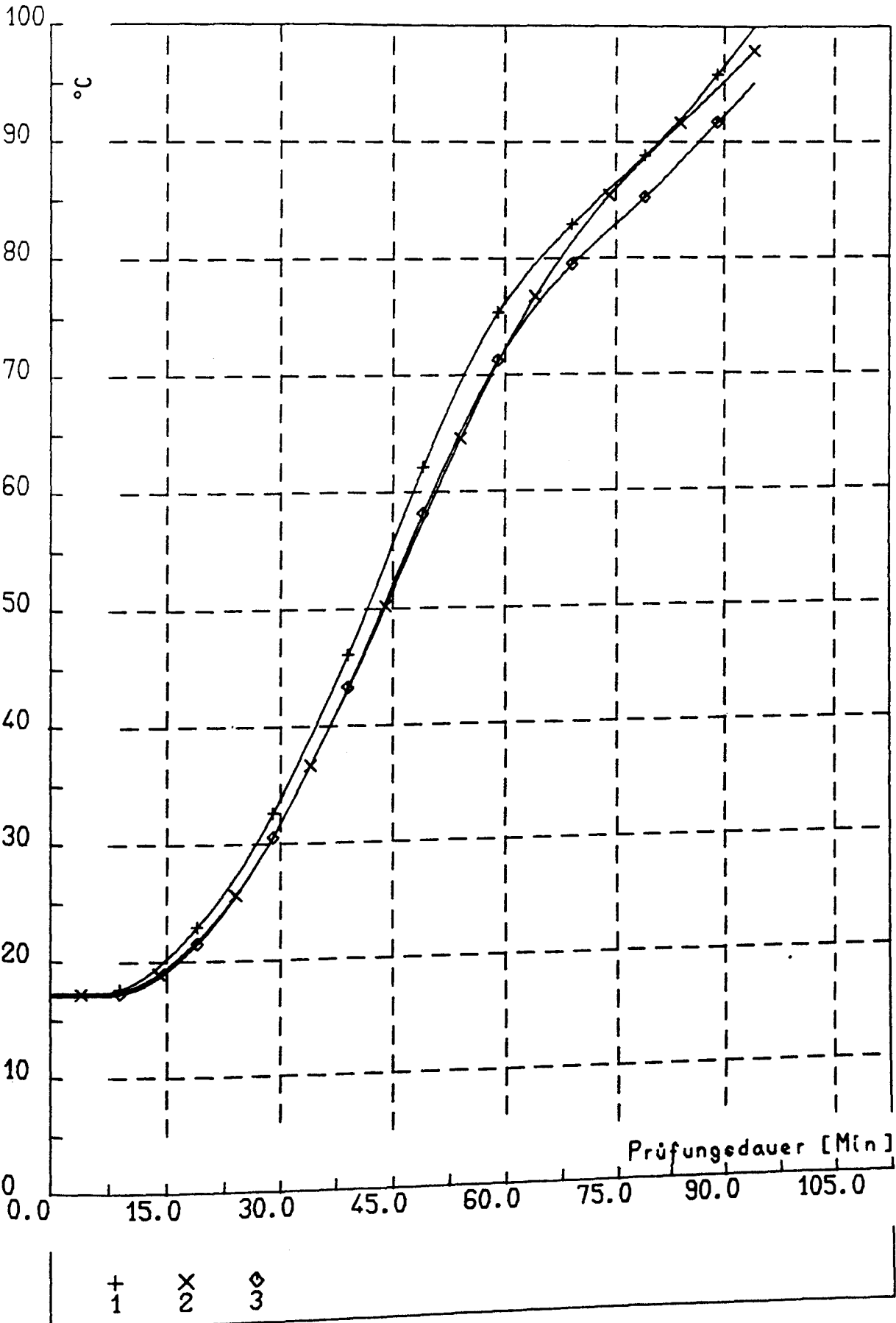


Plattenstreifen 3

Temperatures im Brandraum
Prüfung

Anlage 51 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

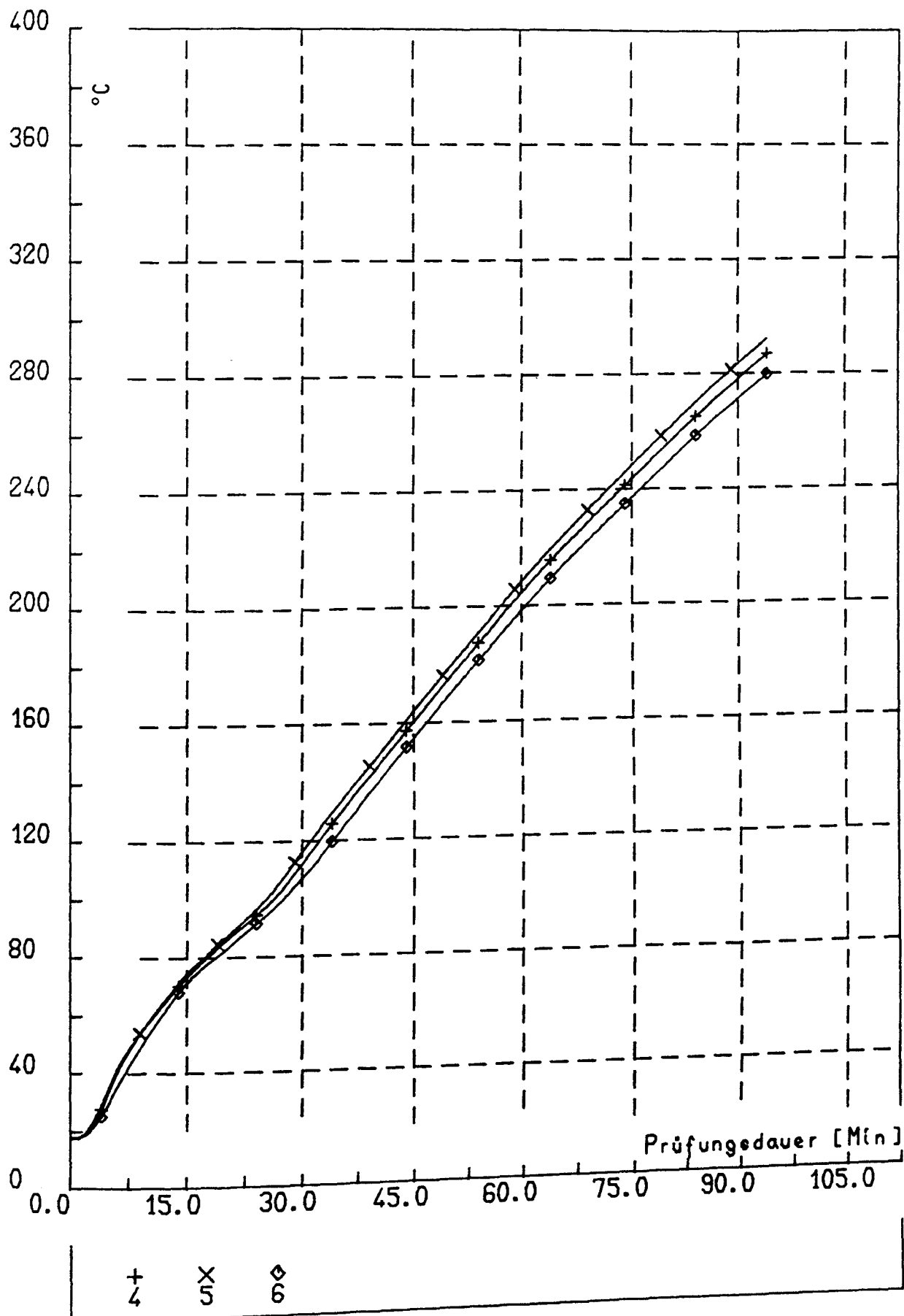
PLATTENSTREIFEN-3 0. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 3

Anlage 52 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

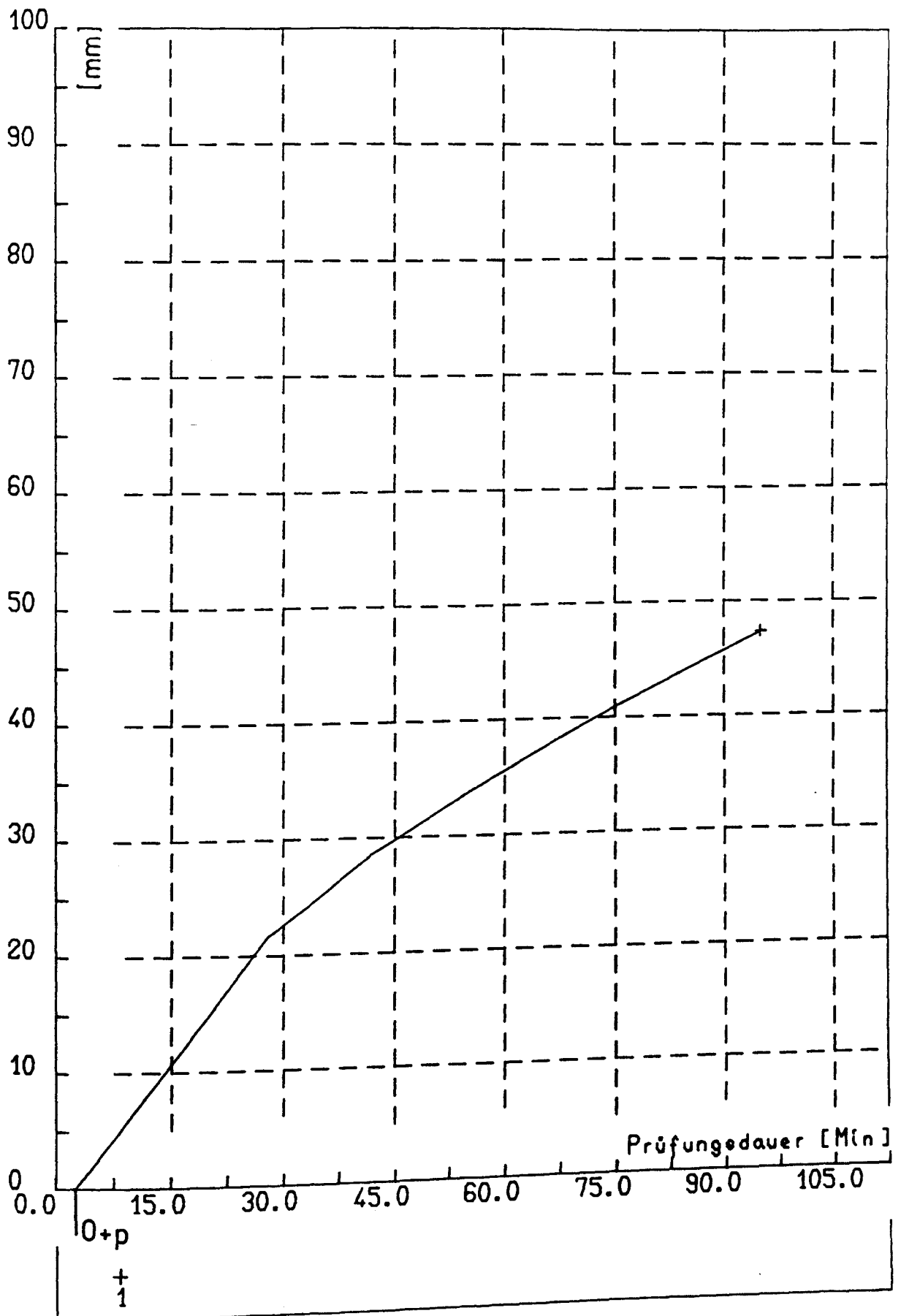
PLATTENSTREIFEN-3 U. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 3

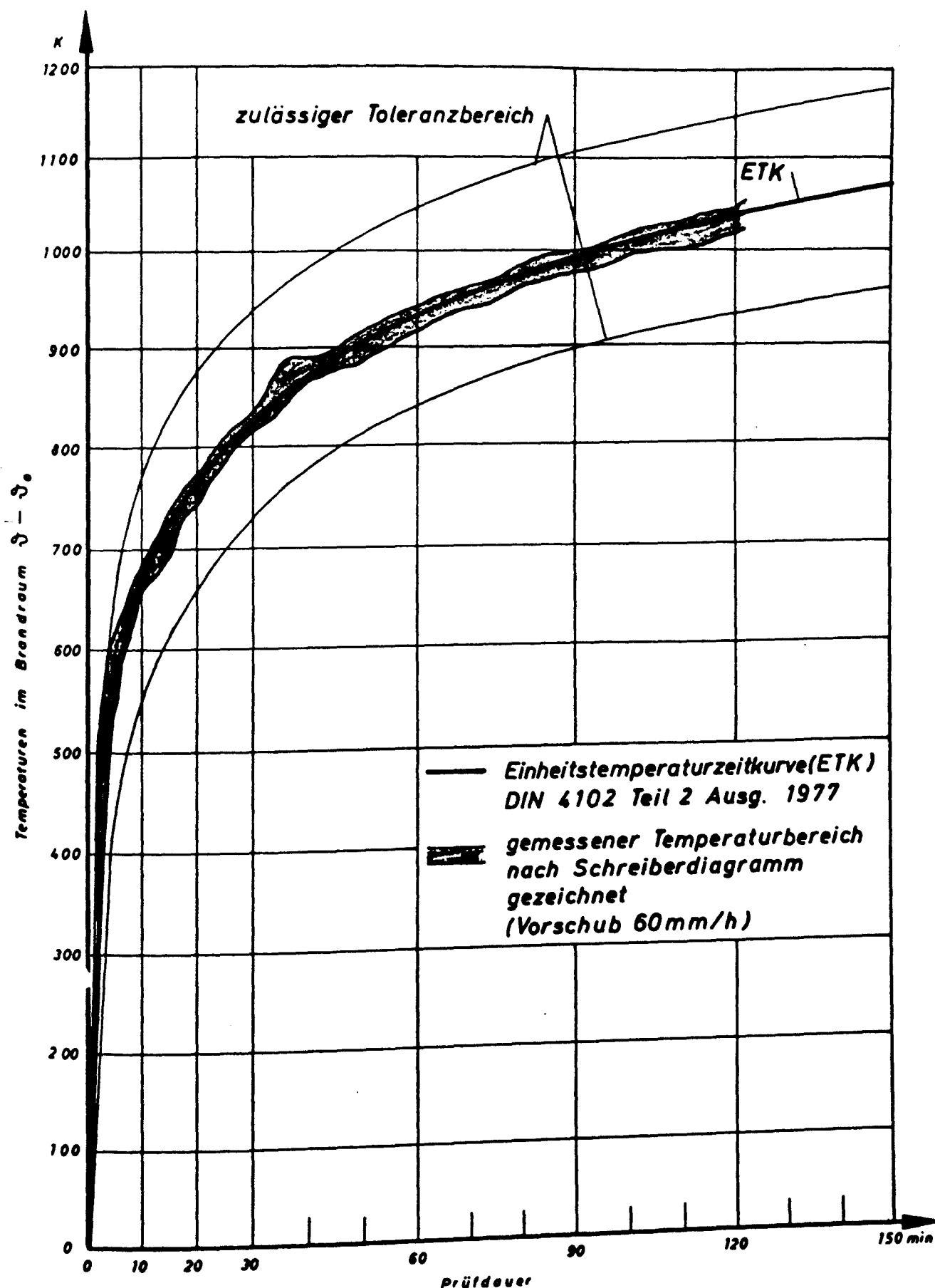
Anlage 53 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

PLATTENSTREIFEN-3 VERFORMUNG



VERFORMUNGEN
PRÜFUNG 3

Anlage 54 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



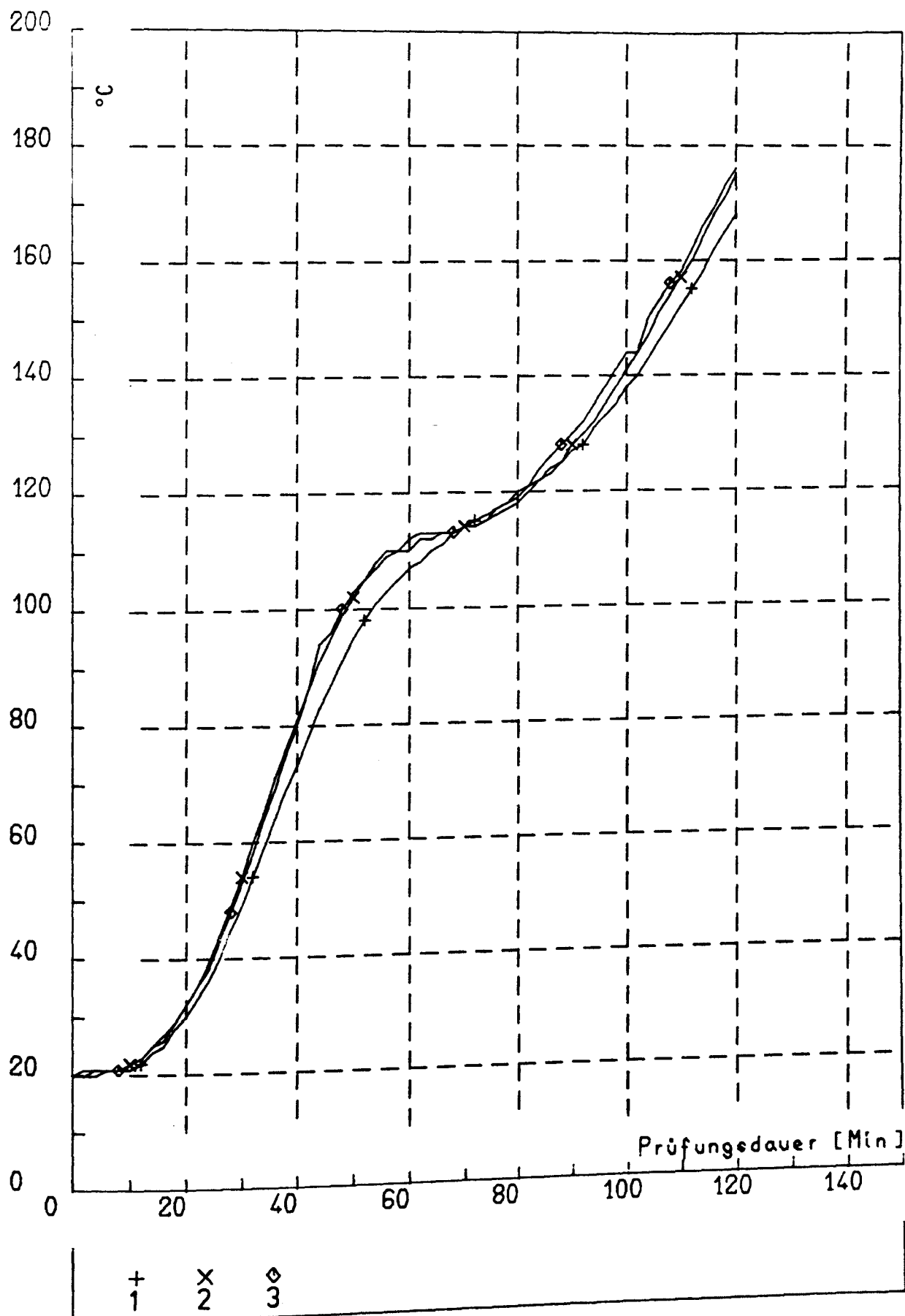
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 19°C

Plattenstreifen 4

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 55 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

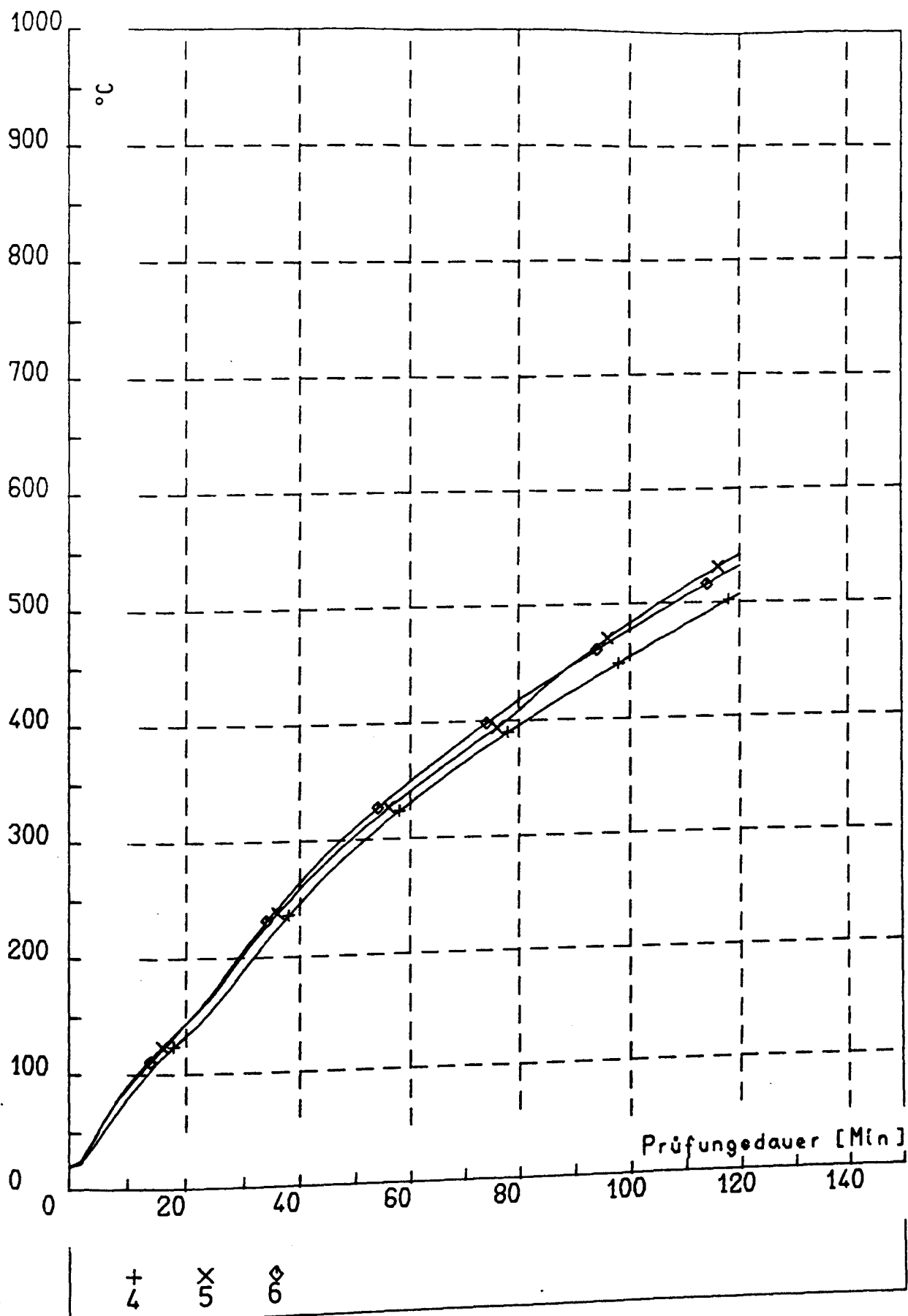
PLATTENSTREIFEN-4 o. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 4

Anlage 56 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

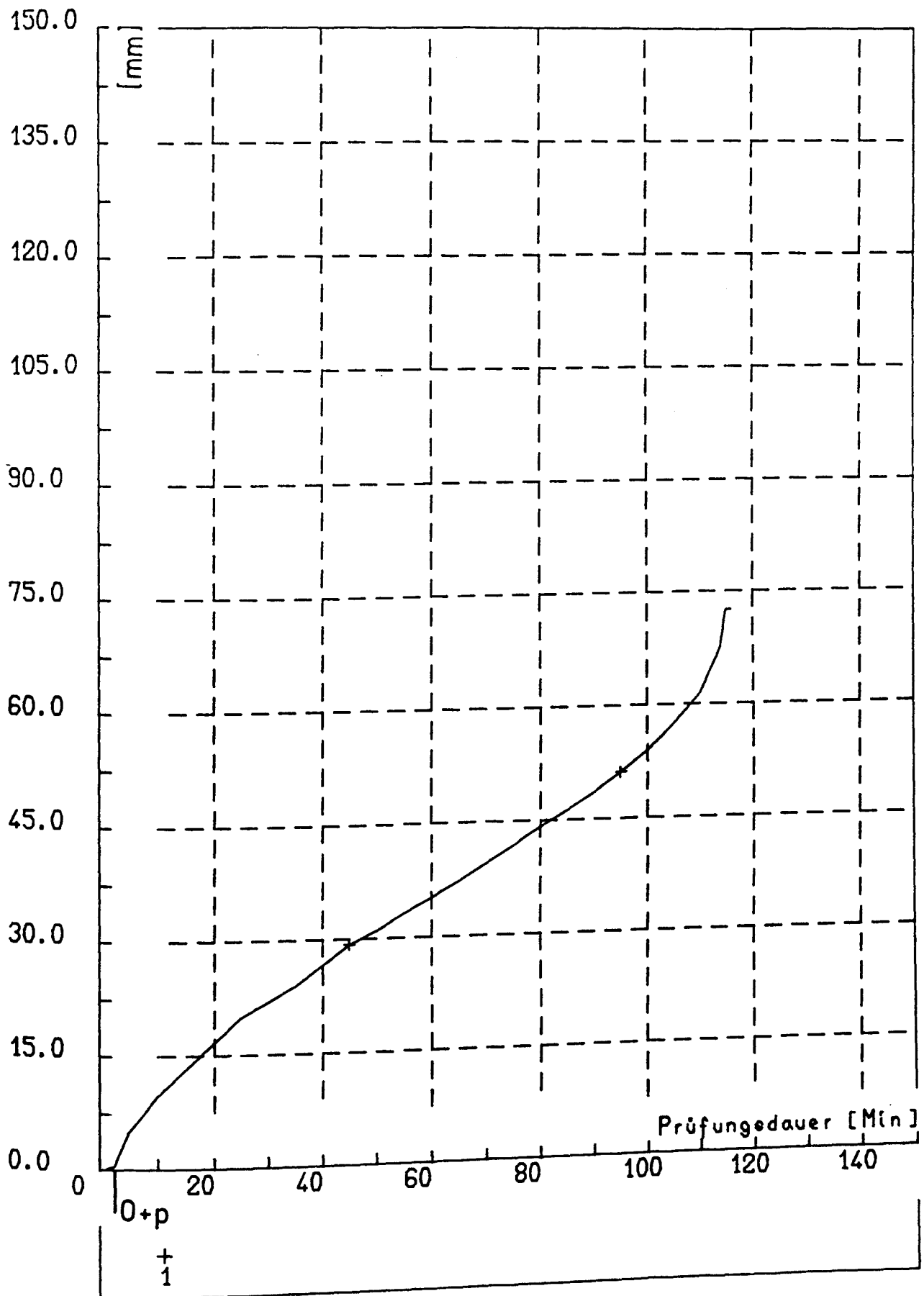
PLATTENSTREIFEN-4 u. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 4

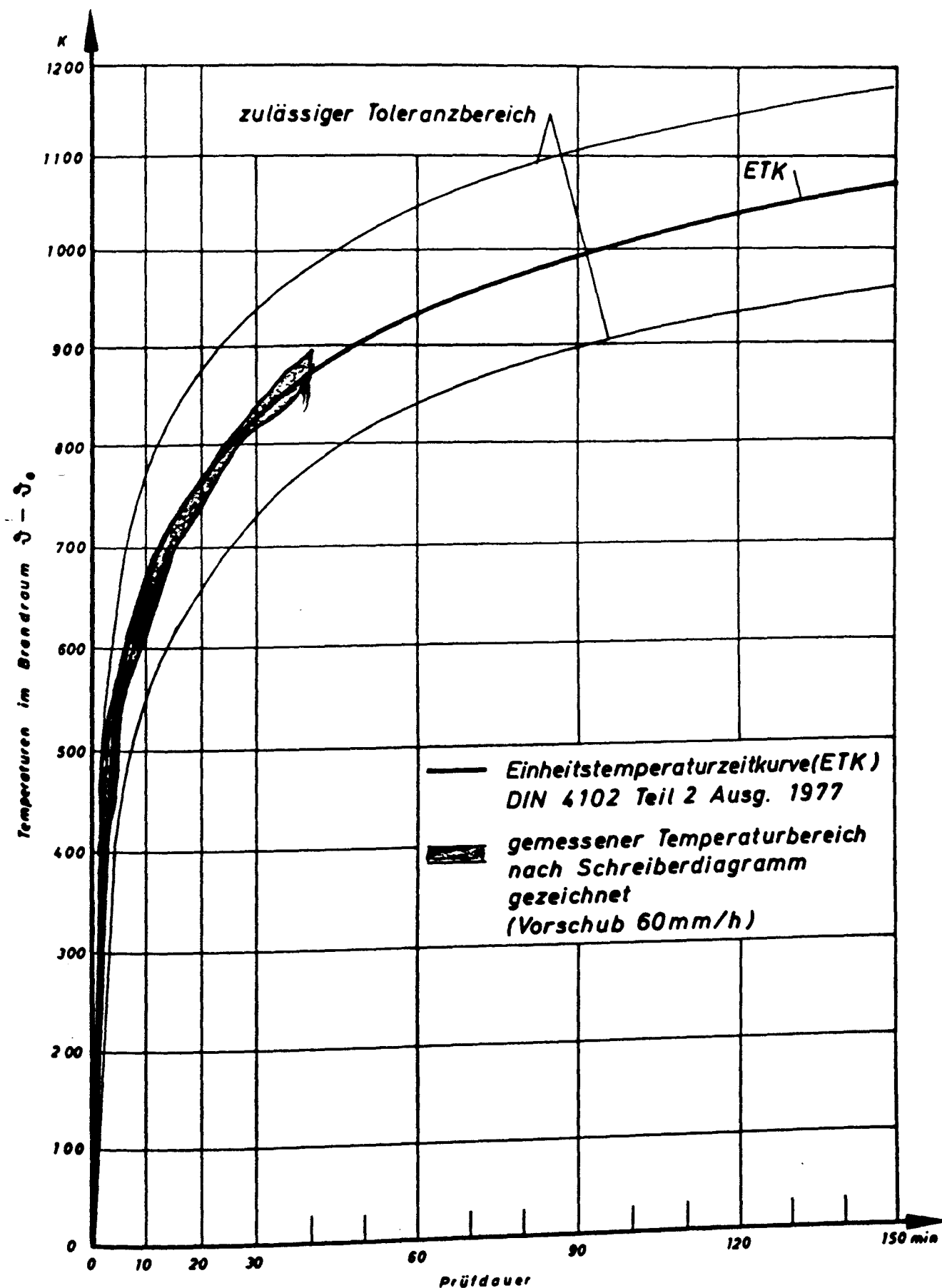
Anlage 57 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

PLATTENSTREIFEN-4 VERFORMUNG



VERFORMUNGEN
PRÜFUNG 4

Anlage 58 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



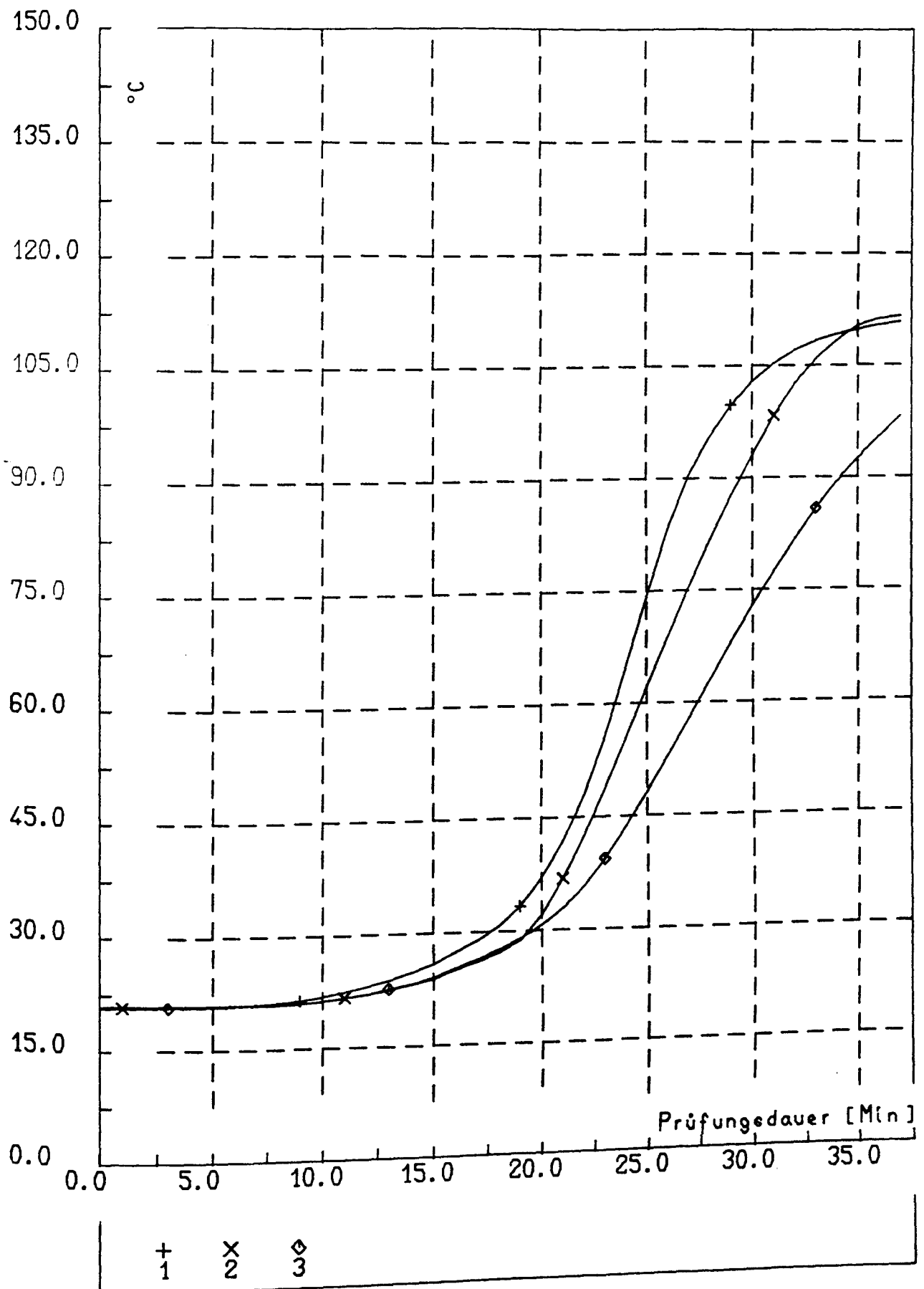
Ausgangstemperatur
bei Prüfbeginn 20°C

Plattenstreifen 5

Temperaturen im Brandraum
Prüfung

Anlage 59 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

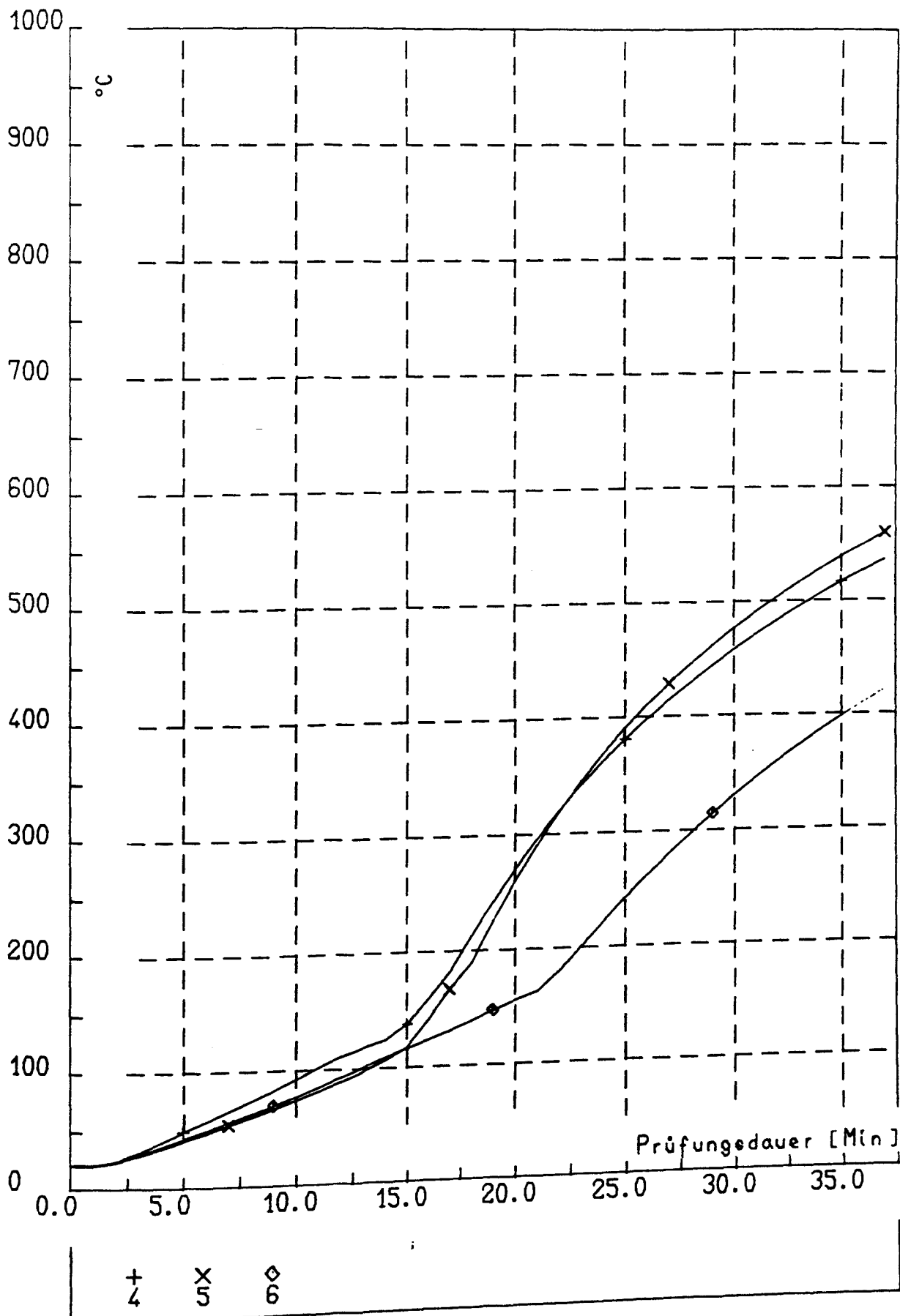
PLATTENSTREIFEN-5 0. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 5

Anlage 60 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VBI-72.02-
Nr. 190/86

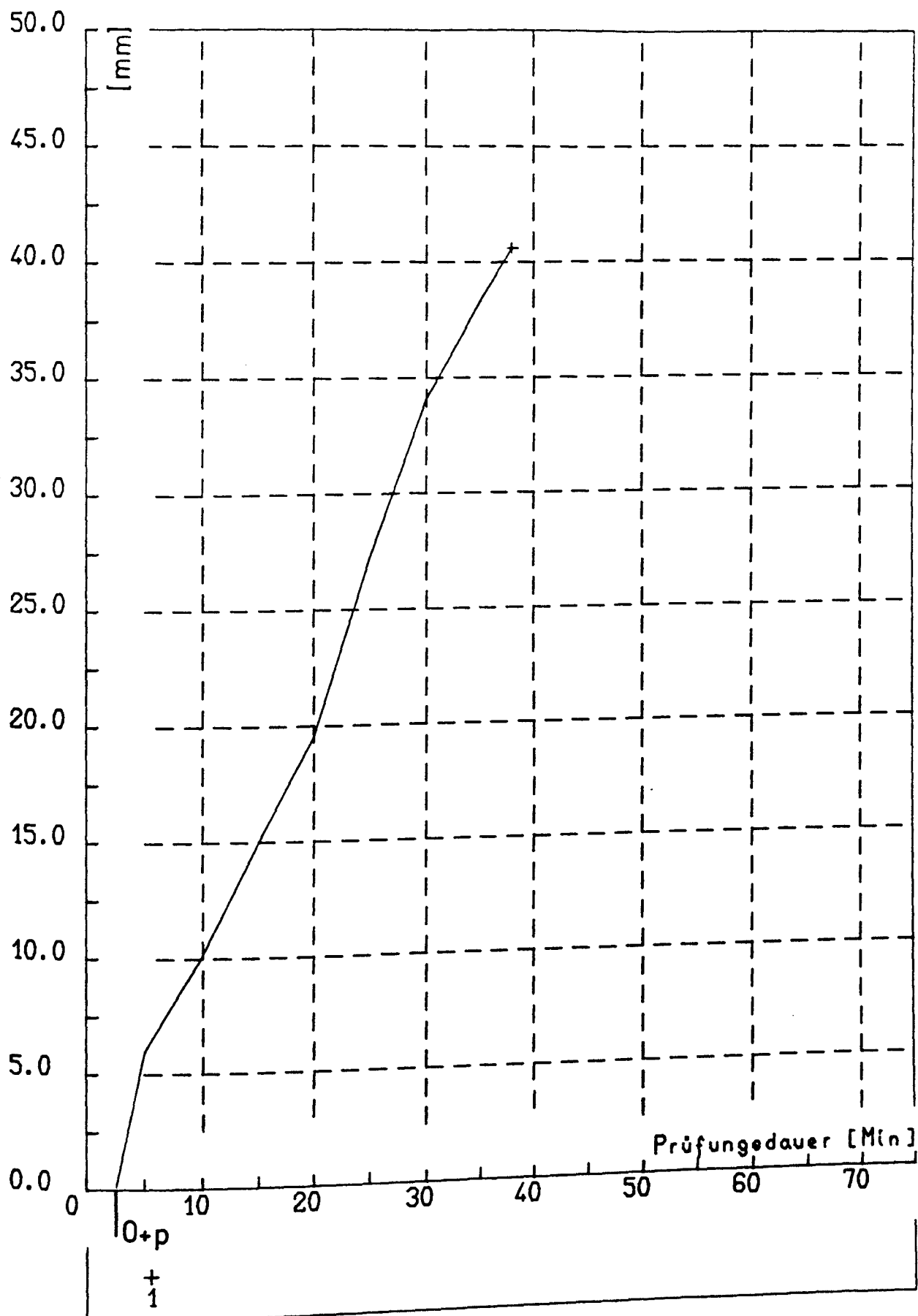
PLATTENSTREIFEN-5 U. BEWEHRUNG FELDMITTE



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 5

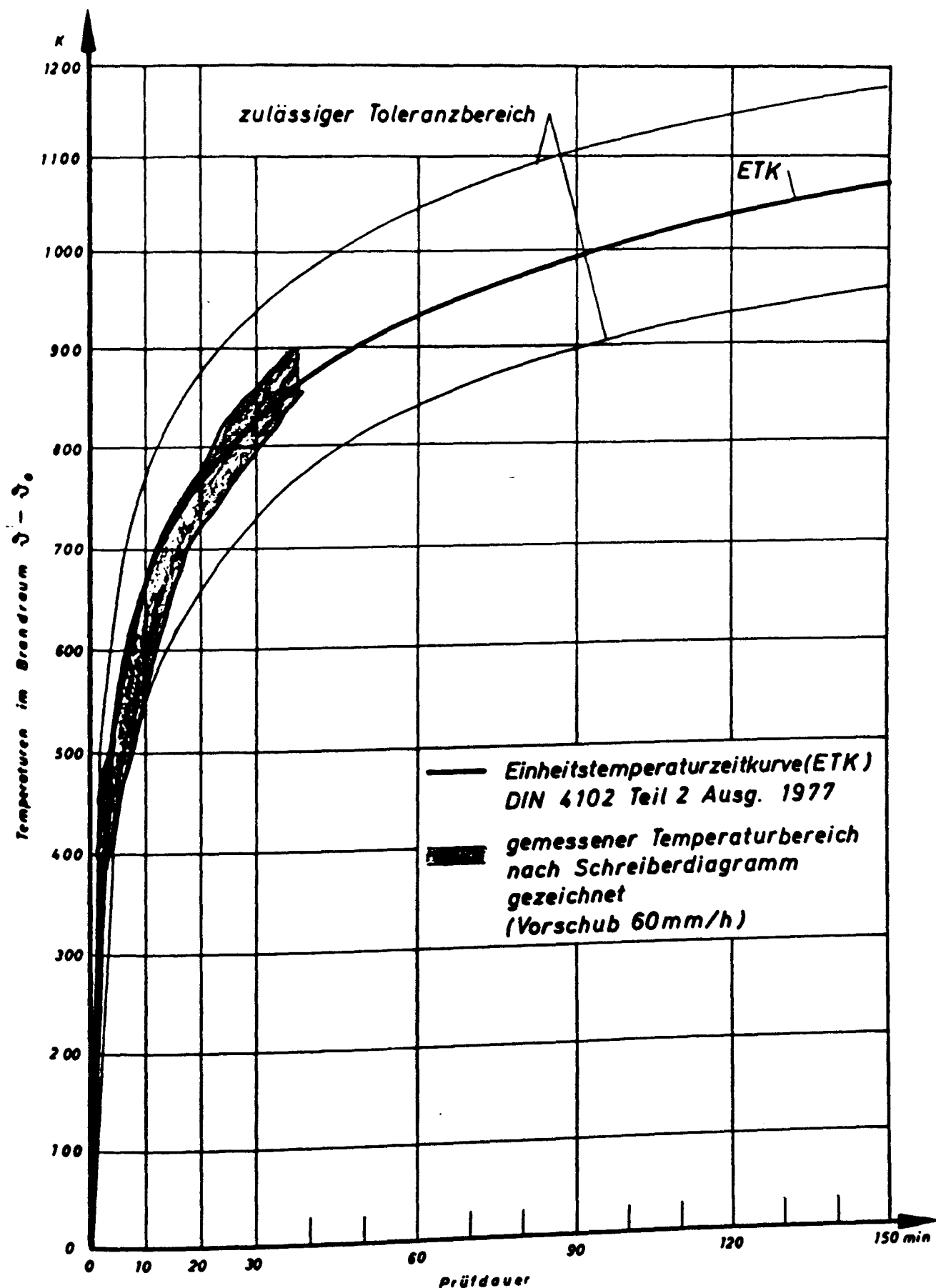
Anlage 61 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

PLATTENSTREIFEN-5 VERFORMUNG



VERFORMUNGEN
PRÜFUNG 5

Anlage 62 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

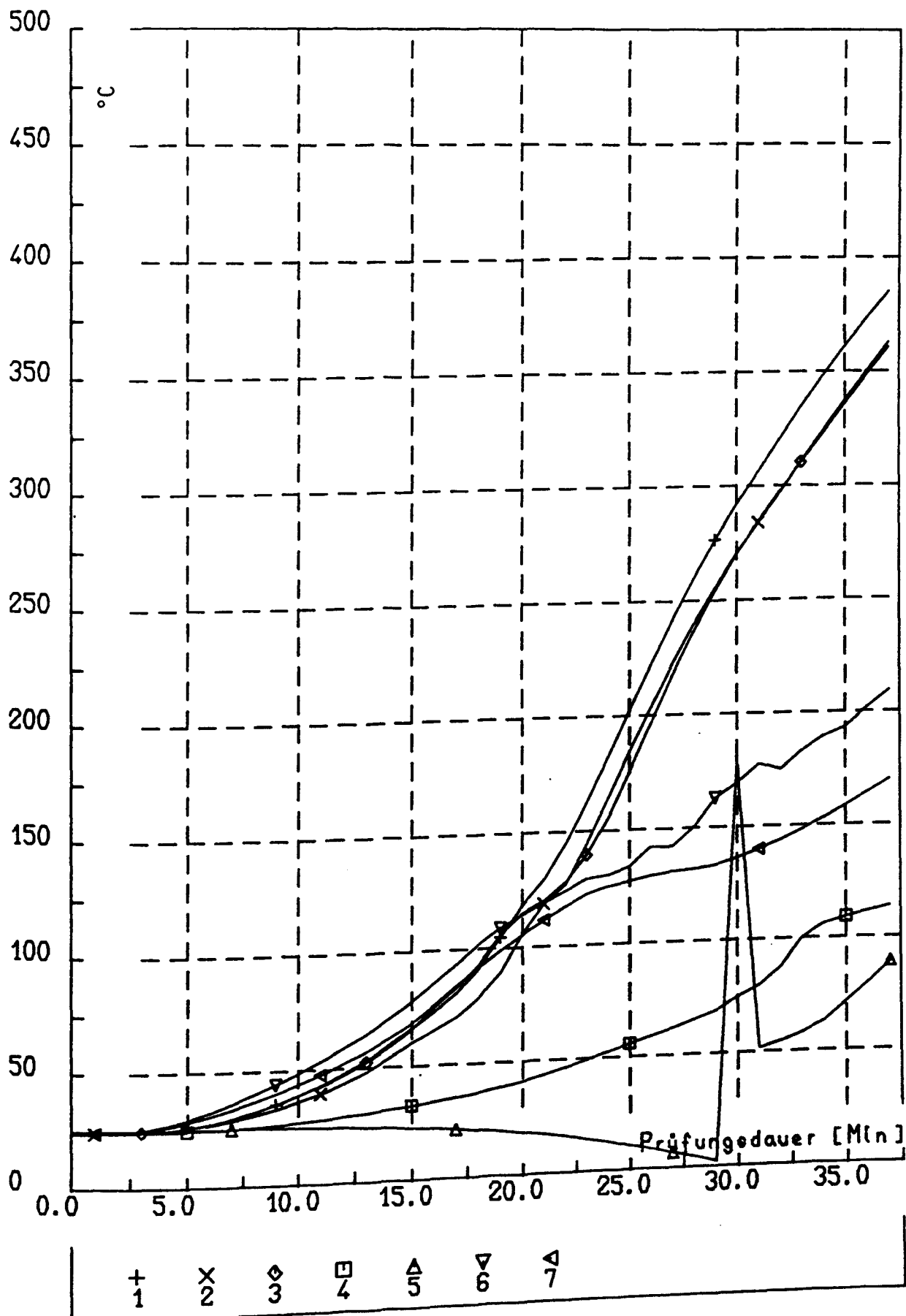


Balken 1

**Temperaturen im Brandraum
Prüfung**

Anlage 63 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

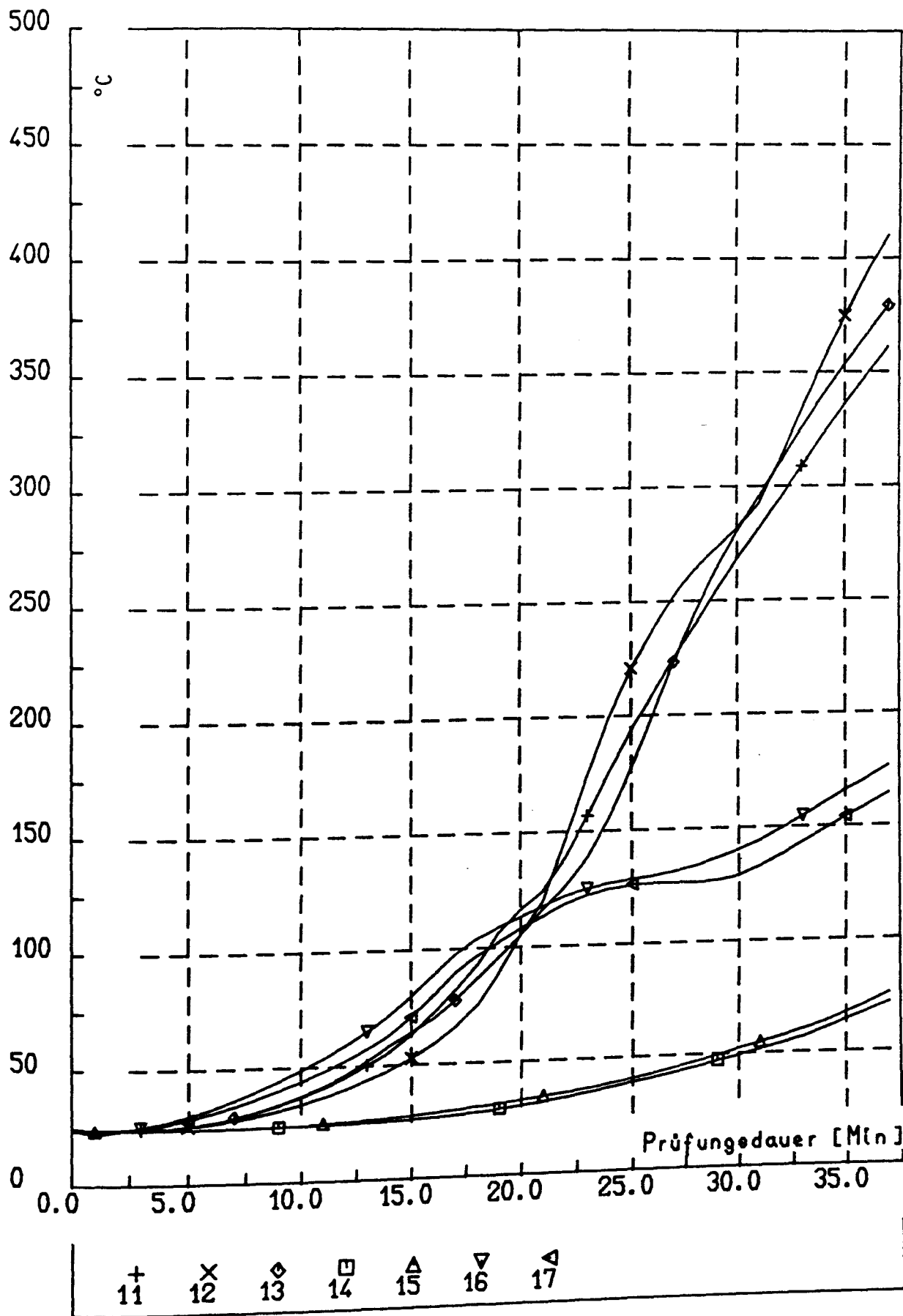
BALKEN 1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 64 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

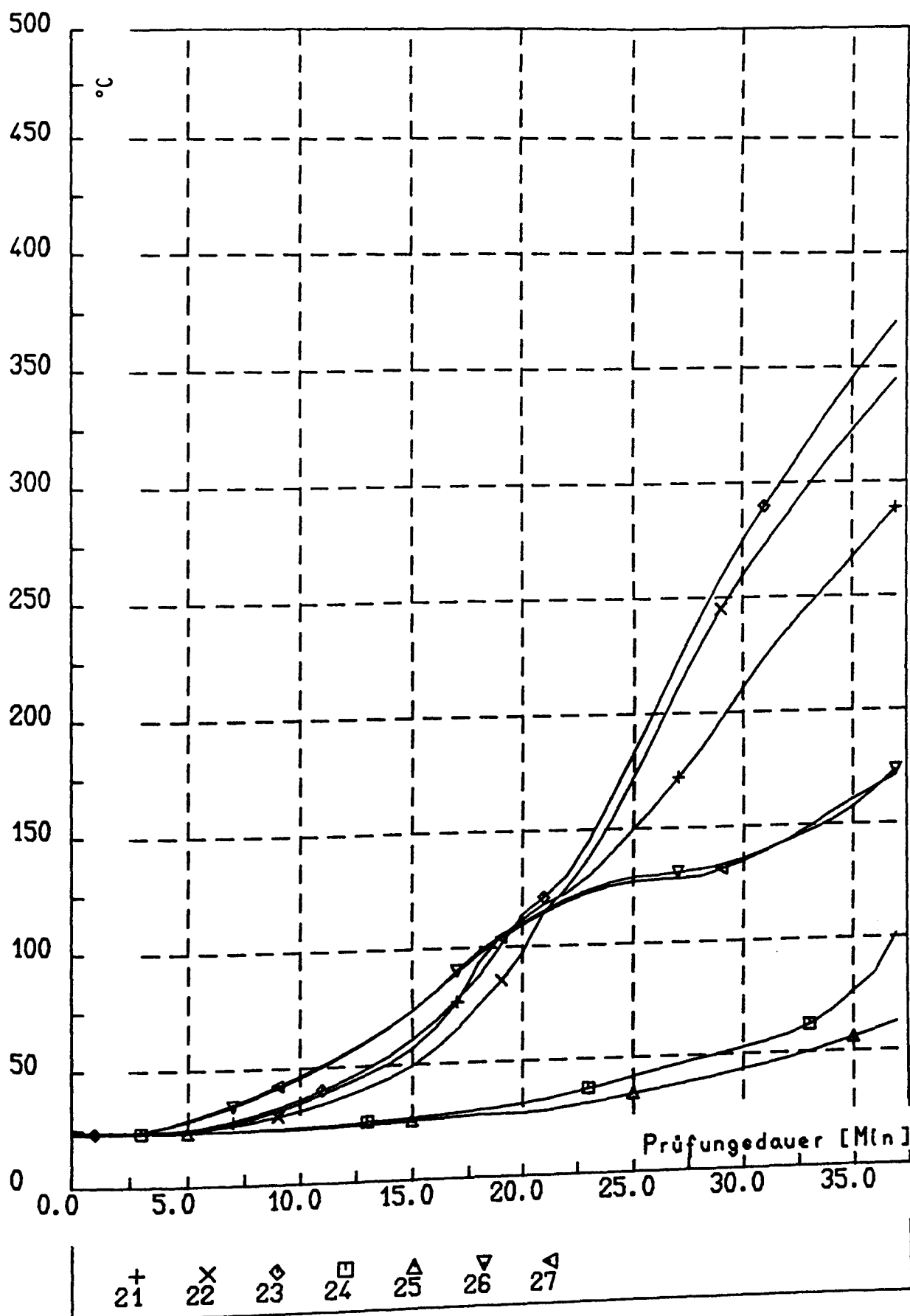
BALKEN 1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 65 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

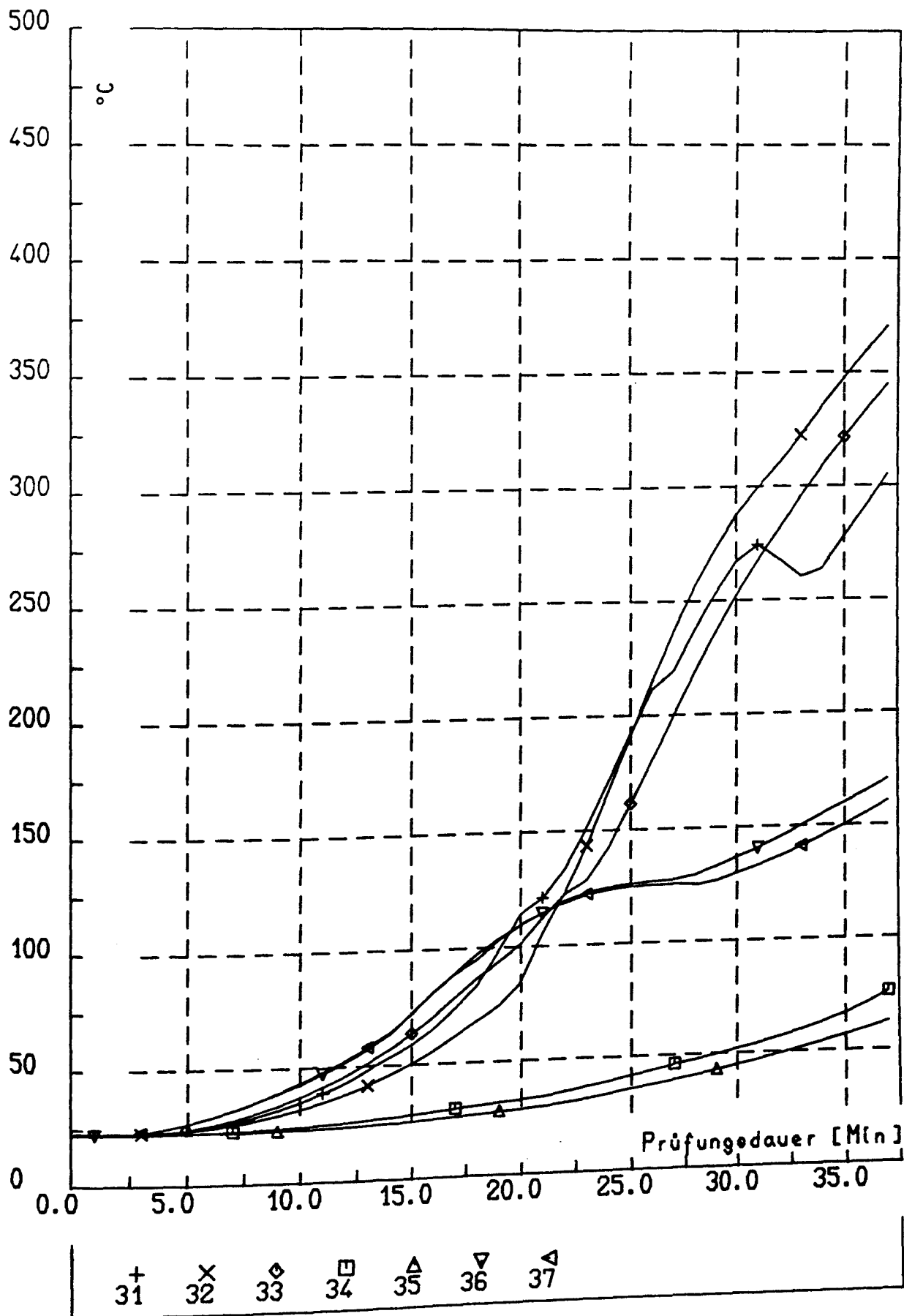
BALKEN 1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 66 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

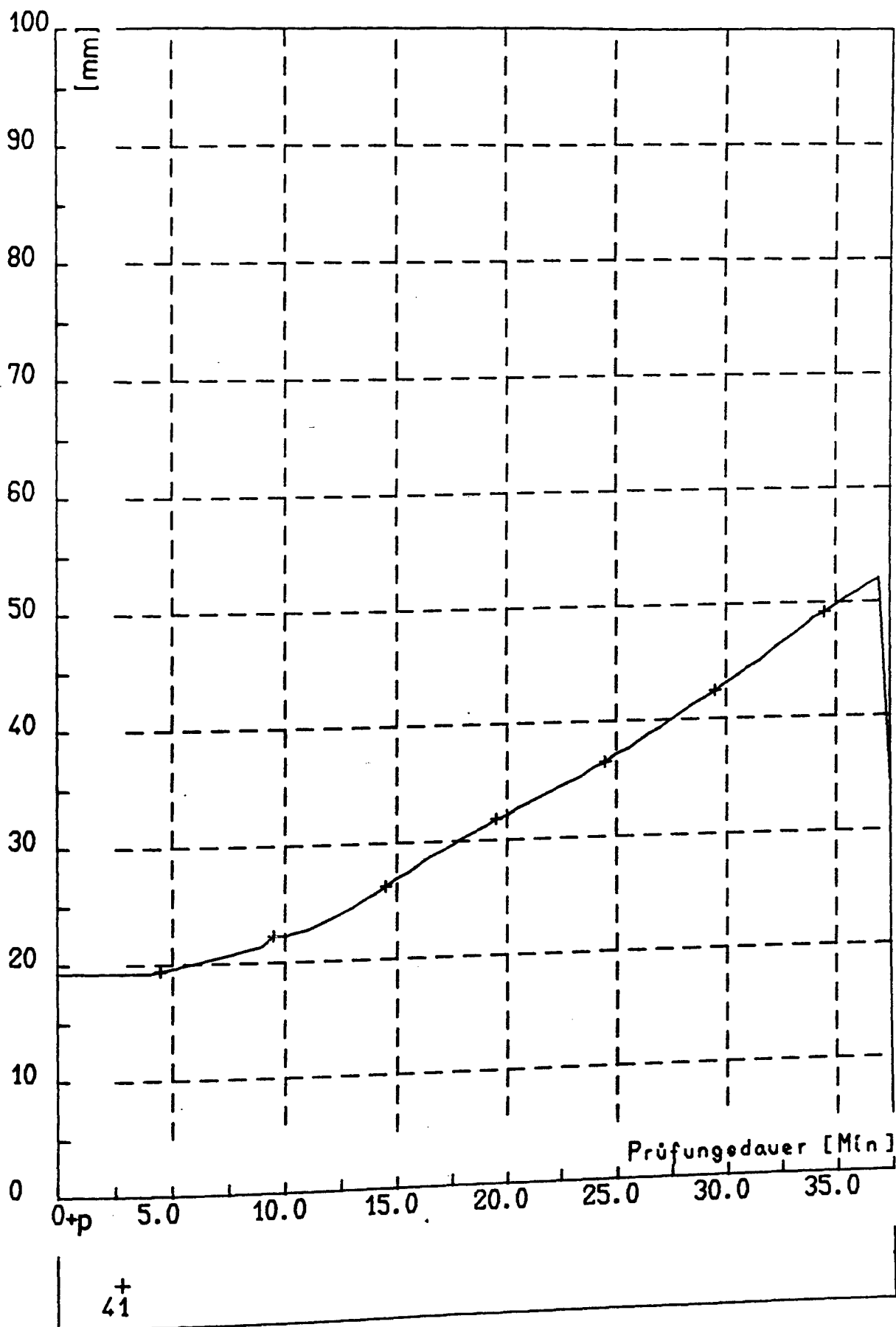
BALKEN 1



TEMPERATUREN AM PRÜFKÖRPER
PRÜFUNG 1

Anlage 67 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

BALKEN-1 VERFORMUNG



VERFORMUNGEN
PRÜFUNG 1

Anlage 68 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



Bild 1

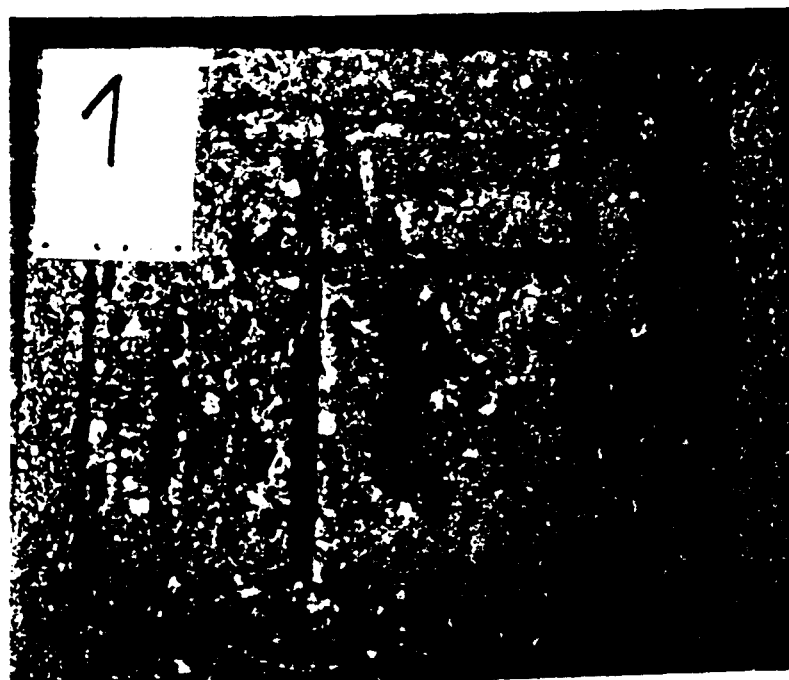


Bild 2

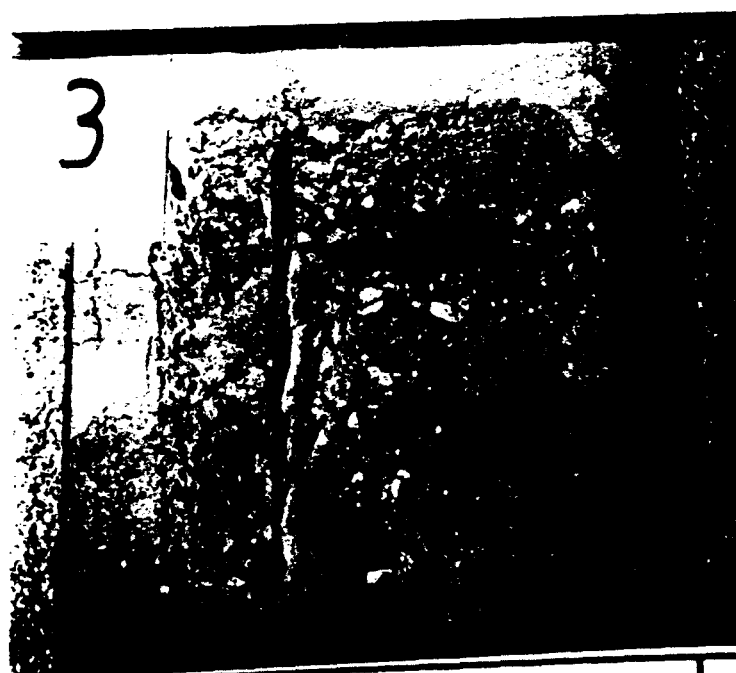


Bild 3

Bild 1: Versuchsaufbau Vorversuche - Hersteller I -
 Bild 2-3: Versuchskörper nach der Brandbeanspruchung
 - Hersteller I -

Anlage F1 zum
 Forschungsvorhaben
 "Sanierung"
 Az.: VB1-72.02-
 Nr. 190/86

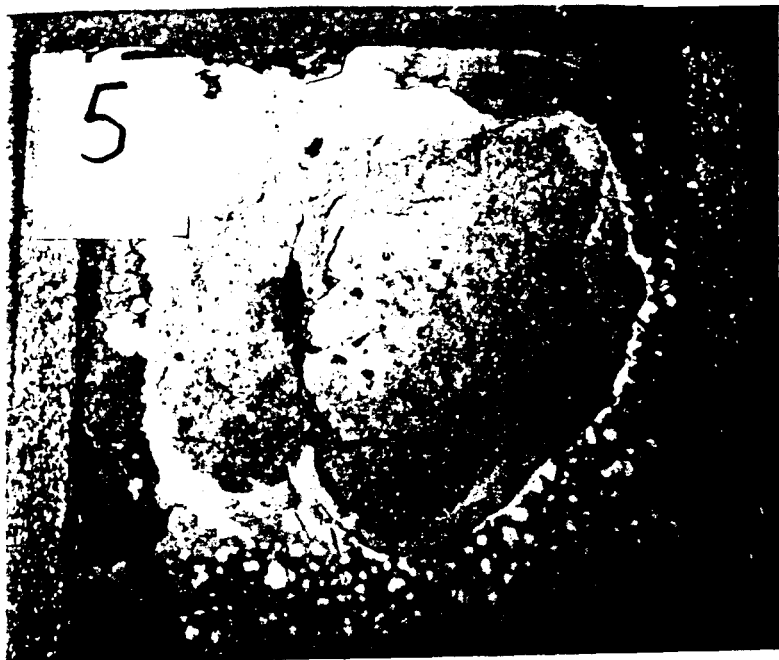


Bild 4

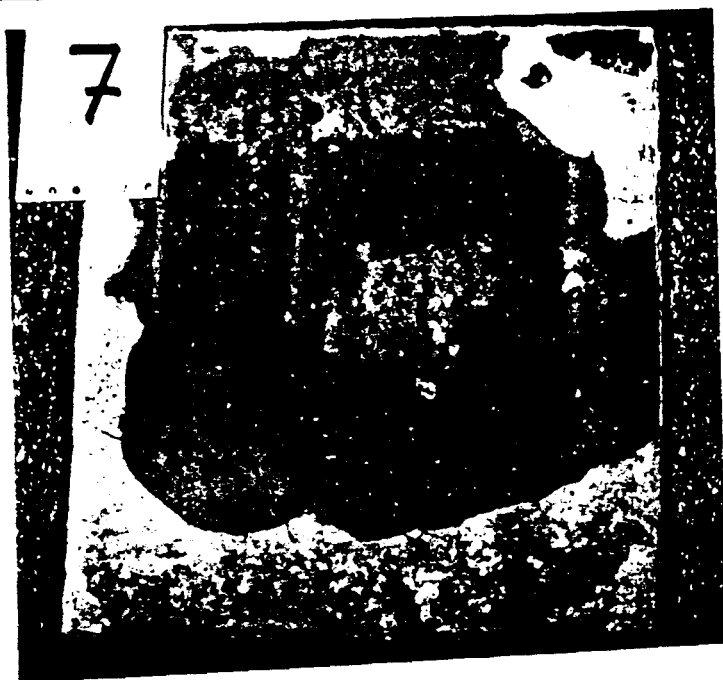


Bild 5

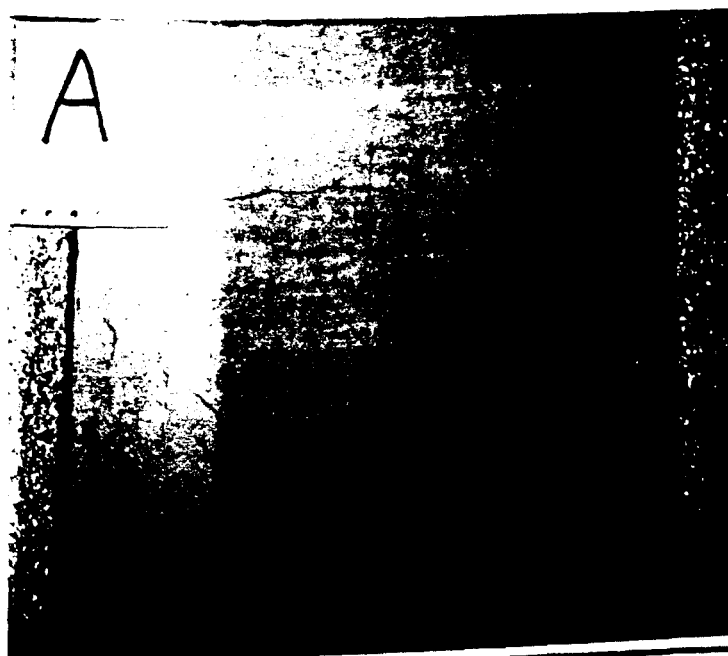


Bild 6

Bild 4-6: Vorversuchskörper nach der Brandbeanspruchung
- Hersteller I -

Anlage F2 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

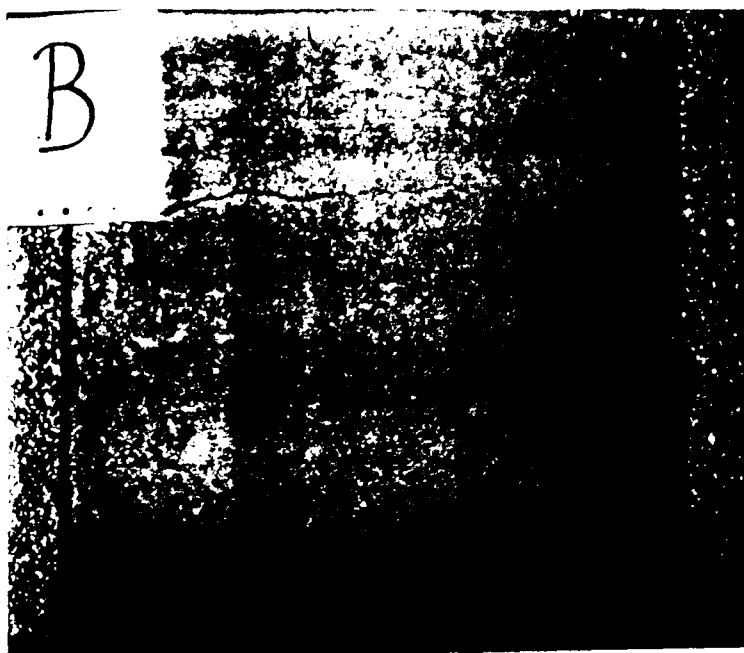


Bild 7

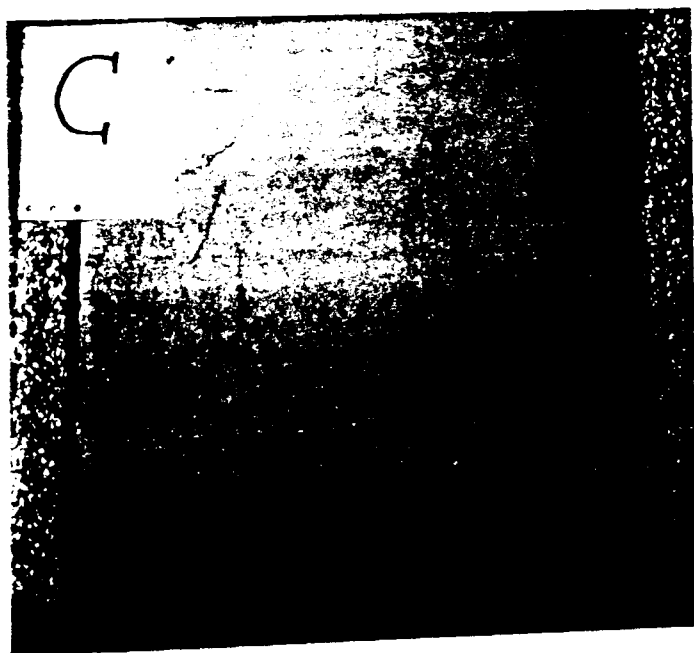


Bild 8



Bild 9

Bild 7-9: Vorversuchskörper nach der Brandbeanspruchung
- Hersteller I -

Anlage F3 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

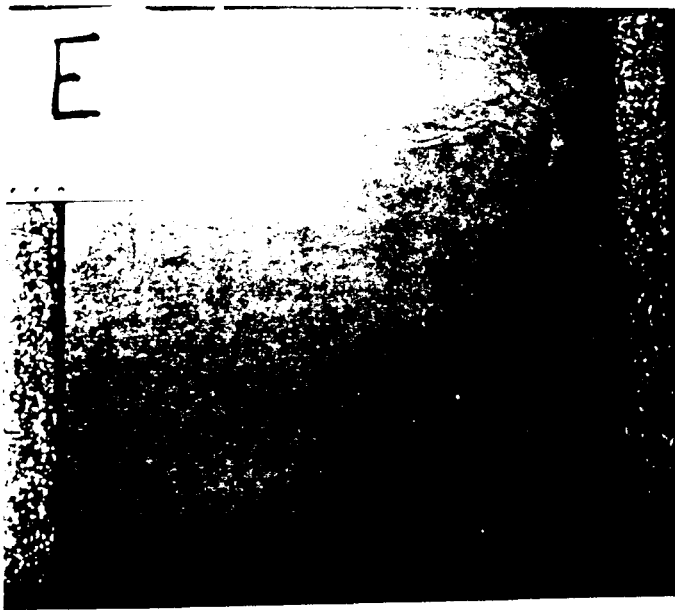


Bild 10

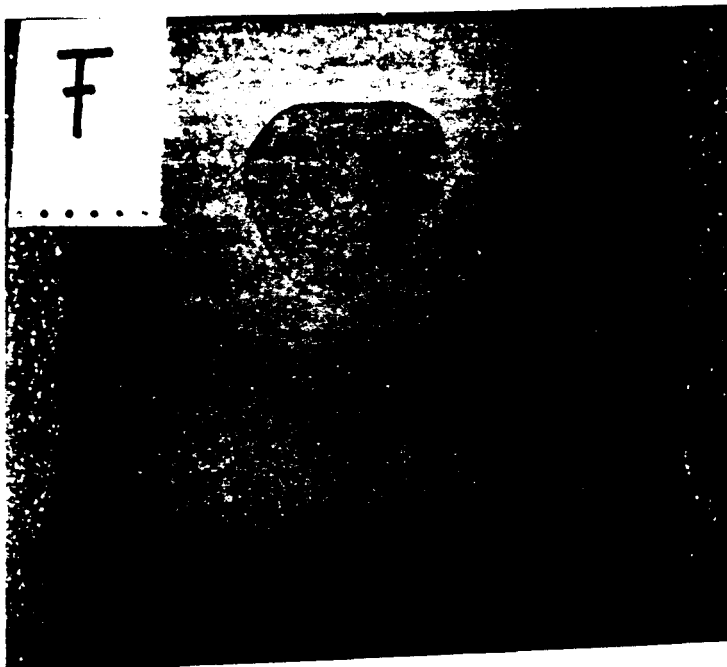


Bild 11

Bild 10-11: Vorversuchskörper nach der Brandbeanspruchung
- Hersteller I -

Anlage F4 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

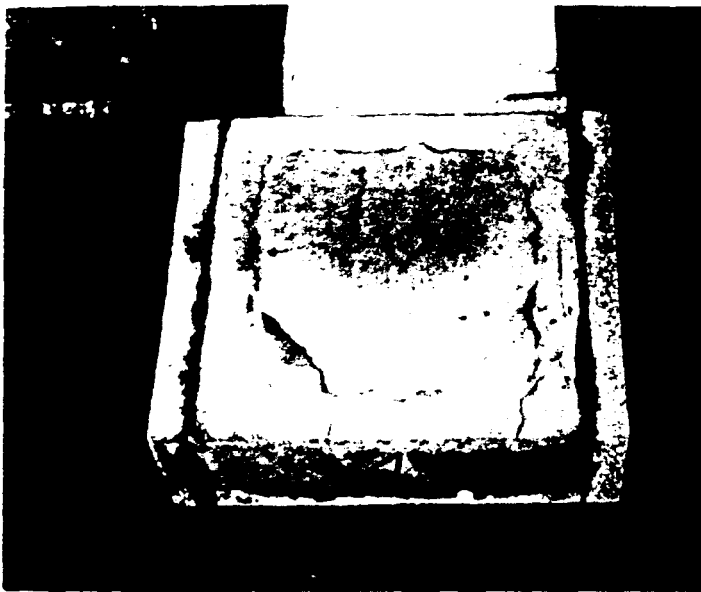


Bild 12



Bild 13

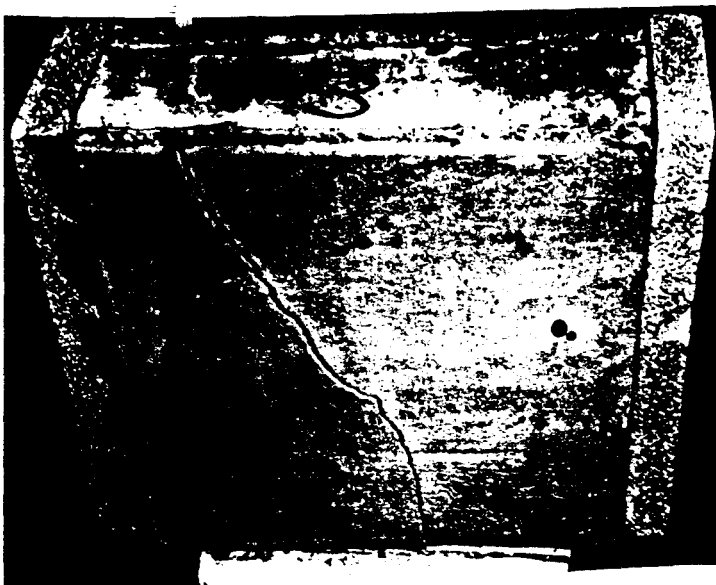


Bild 14

Bild 12-14: Vorversuchskörper nach der Brandbeanspruchung
- Hersteller II -

Anlage F5 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



Bild 15

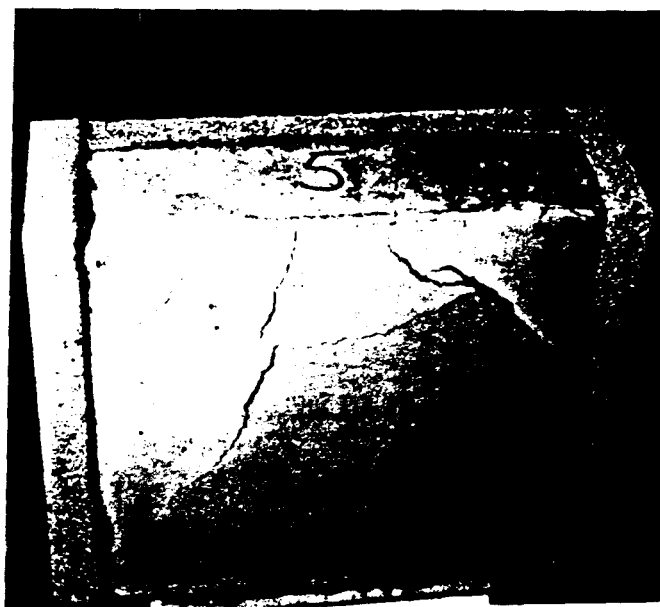


Bild 16

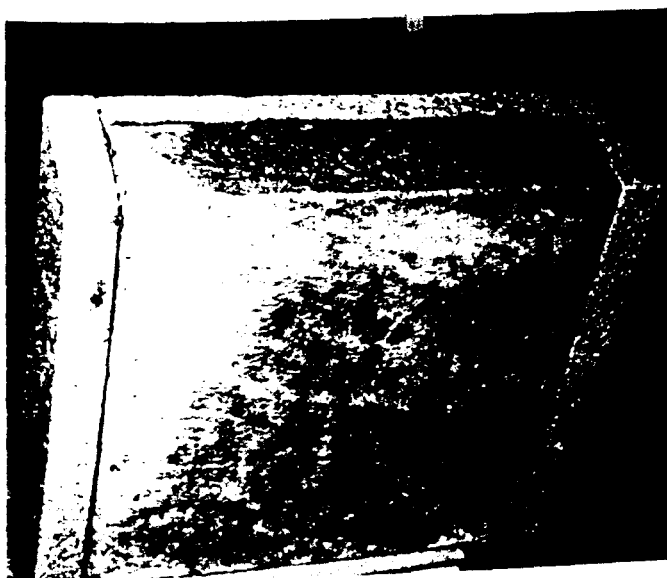


Bild 17

Bild 15-17: Vorversuchskörper nach der Brandbeanspruchung
- Hersteller II -

Anlage F6 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

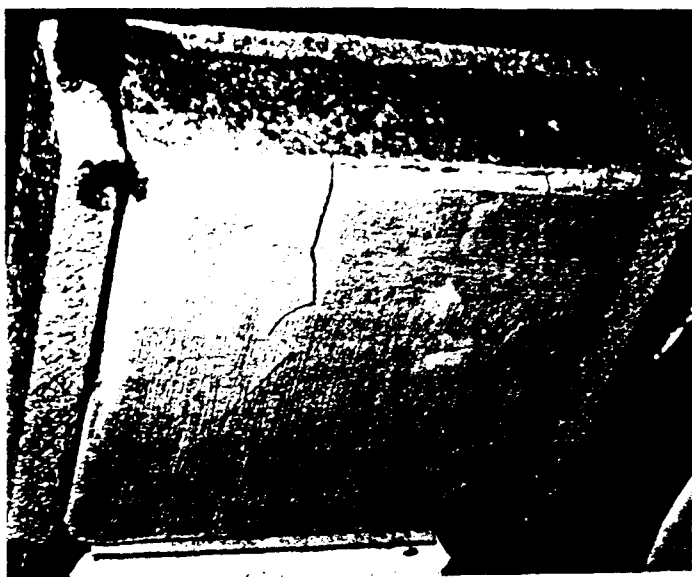


Bild 18



Bild 19

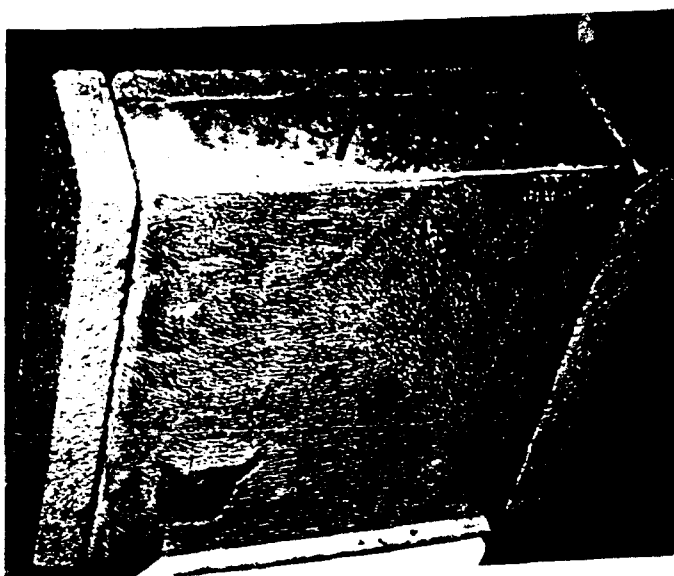


Bild 20

Bild 18-20: Vorversuchskörper nach der Brandbeanspruchung
- Hersteller II -

Anlage F7 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

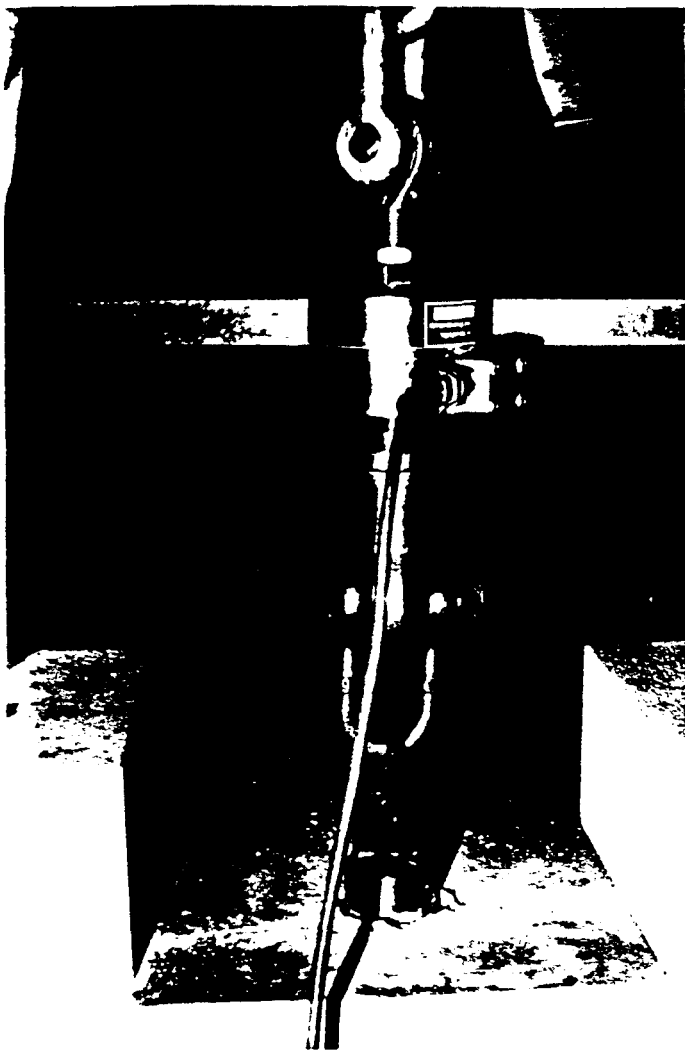


Bild 21

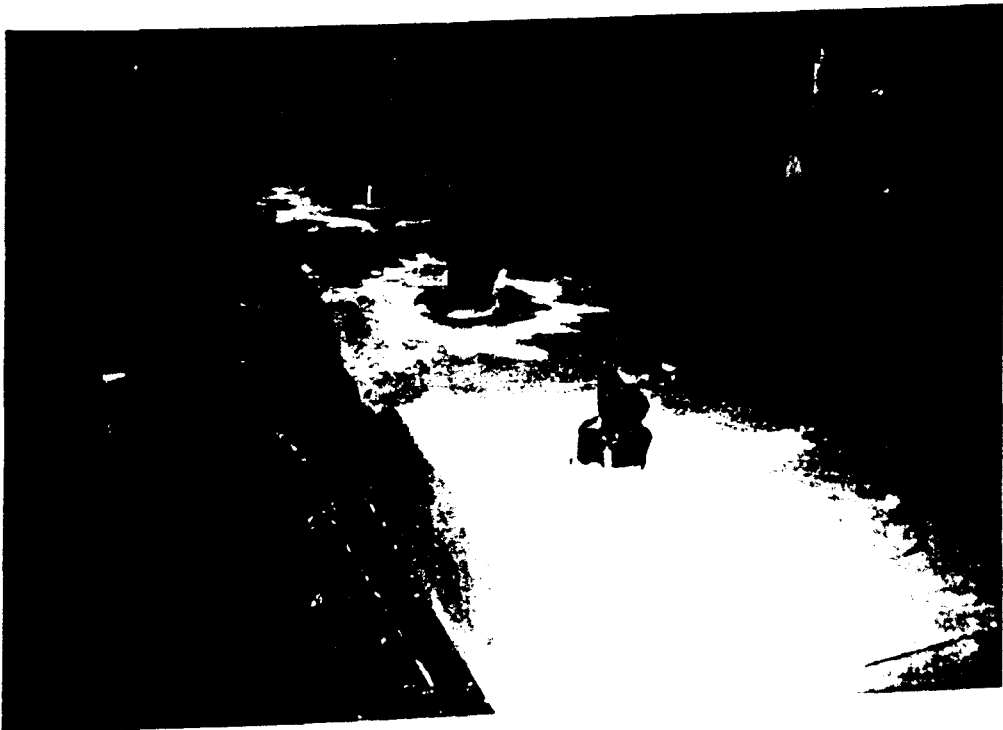


Bild 22

Bild 21-22: Haftzugfestigkeitsermittlung des Mörtels am sanierten Plattenstreifen Nr.4

Anlage F8 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



Bild 23

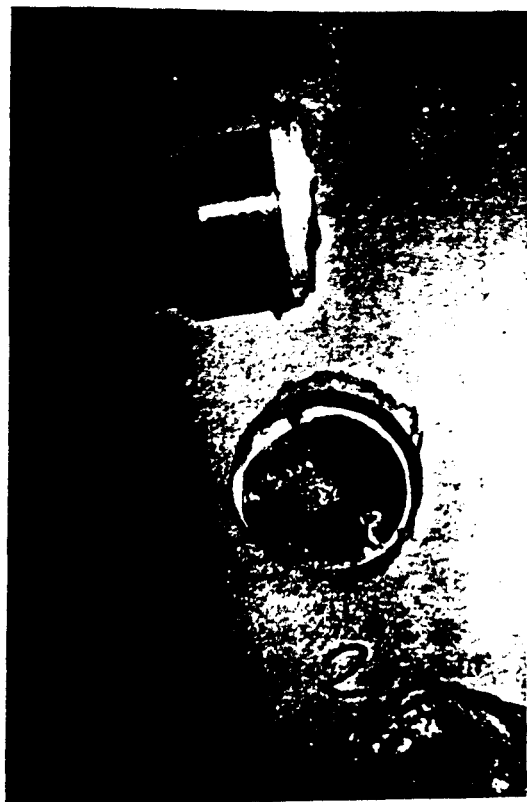


Bild 24



Bild 25

Bild 23-25: Haftzugfestigkeitsermittlung des Mörtels am sanierten Plattenstreifen Nr.4, Proben-Nr.1-3

Anlage F9 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

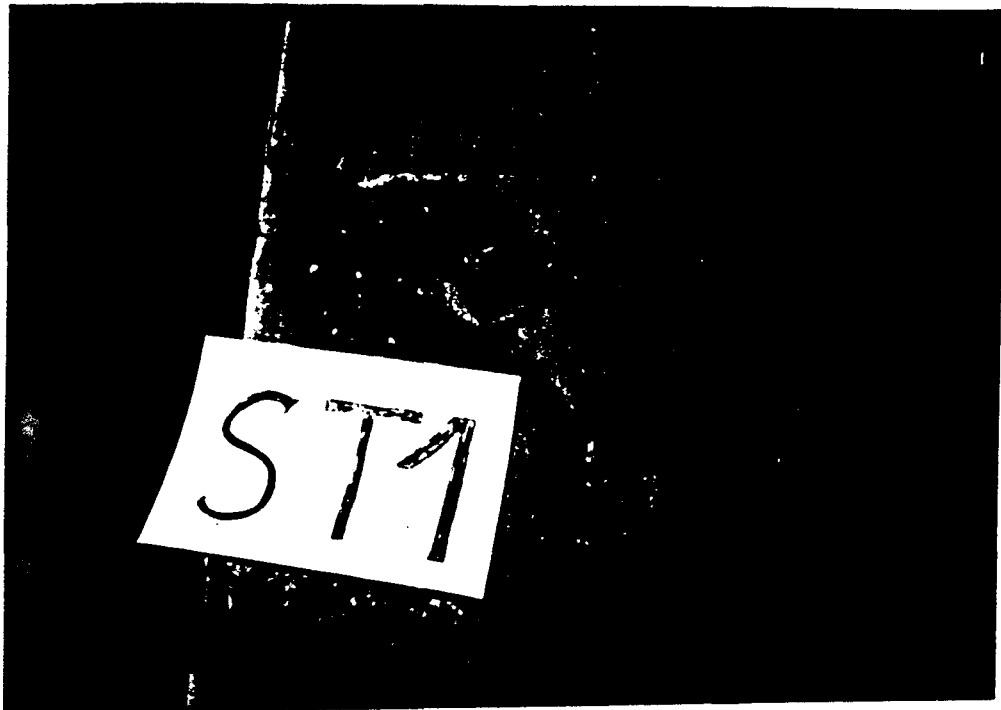


Bild 26



Bild 27

Bild 26-27: Stütze 1 nach dem Brandversuch

Anlage F10 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

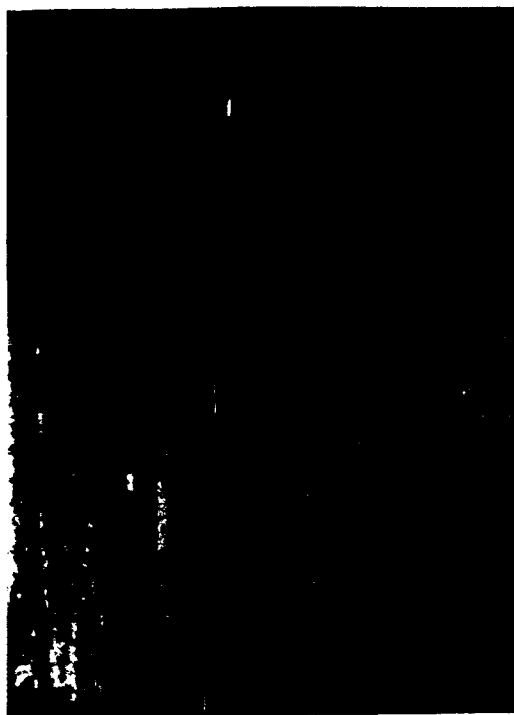


Bild 28

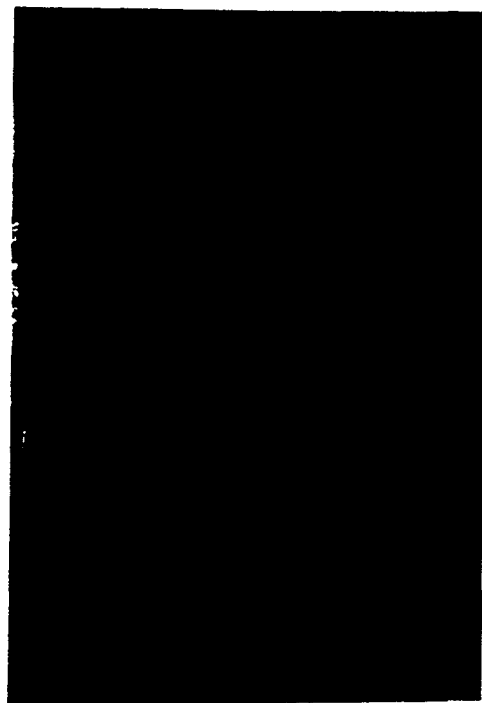


Bild 29

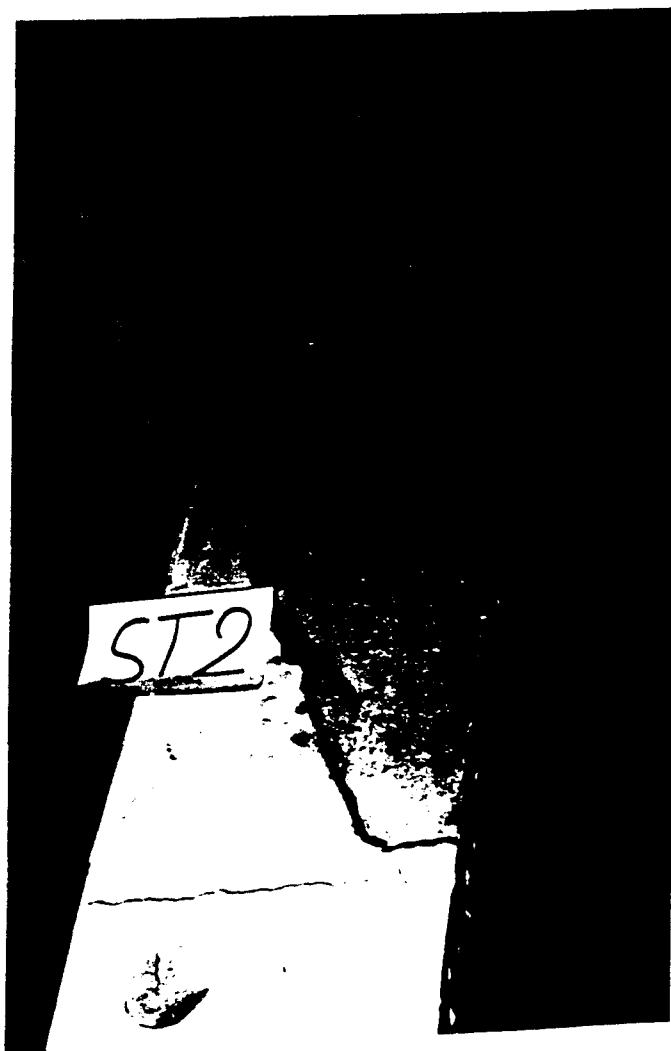


Bild 30

Bild 28-29: Stütze 2 während des Brandversuches
Bild 30: Stütze 2 nach dem Brandversuch

Anlage F11 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86



Bild 31



Bild 32



Bild 33

Bild 31: Lasteinleitung für die Stützenabschnitte
 Bild 32-33: Stützenabschnitte mit aufgebrachtem Korrosionsschutz - Hersteller I, II -

Anlage F12 zum
 Forschungsvorhaben
 "Sanierung"
 Az.: VB1-72.02-
 Nr. 190/86

Bild 34



Bild 35



Bild 36

Bild 34: Stützenabschnitt 1 nach dem Brandversuch
Bild 35-36: Stützenabschnitt 2 nach dem Brandversuch

Anlage F13 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

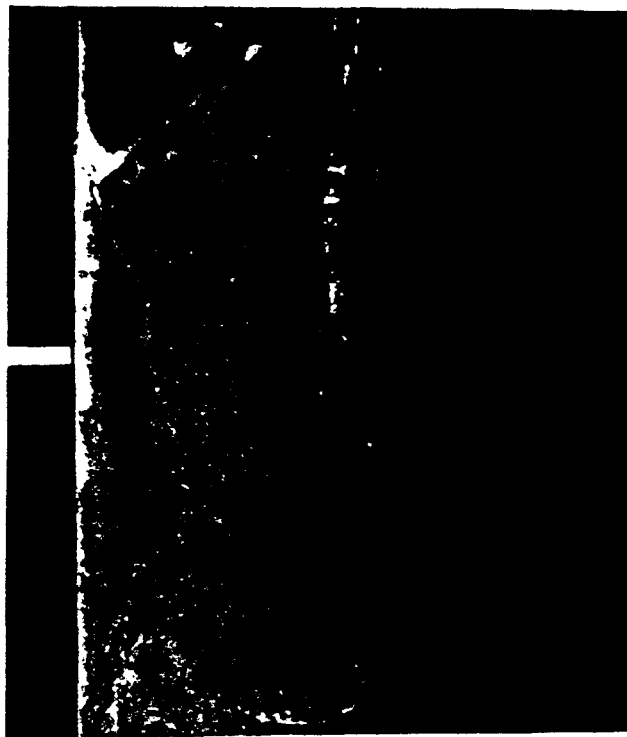


Bild 37

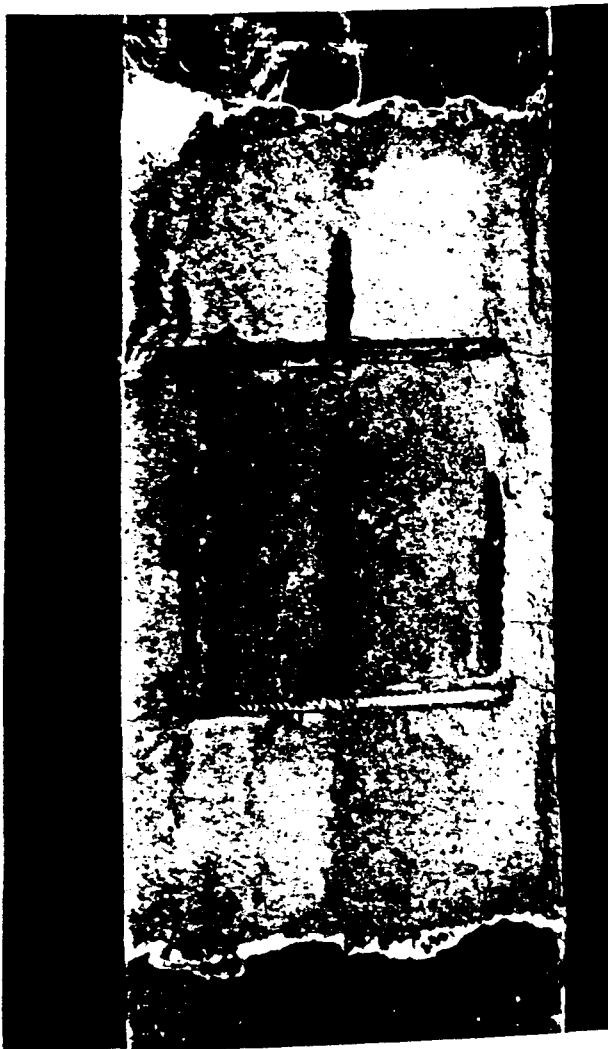


Bild 38



Bild 39

Bild 37: Stützenabschnitt 3 nach dem Brandversuch
 Bild 38: Stützenabschnitt 3a nach dem Brandversuch
 Bild 39: Stützenabschnitt 4 nach dem Brandversuch

Anlage F14 zum
 Forschungsvorhaben
 "Sanierung"
 Az.: VB1-72.02-
 Nr. 190/86

Bild 40

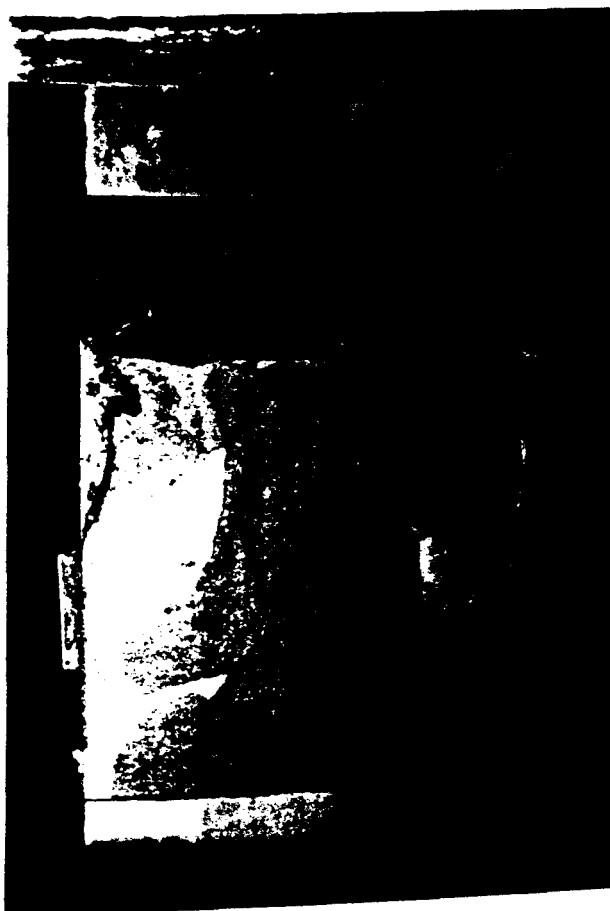


Bild 41

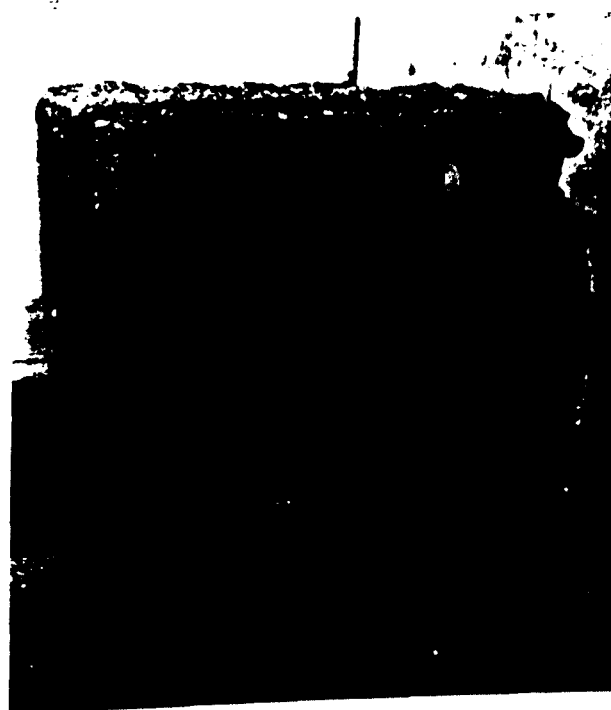


Bild 42

Bild 40: Stützenabschnitt 5 nach dem Brandversuch
Bild 41: Stützenabschnitt 6 nach dem Brandversuch
Bild 42: abgefallene Mörtelscheibe von Stützenabschnitt 6
nach dem Brandversuch

Anlage F15 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

Bild 43



Bild 44

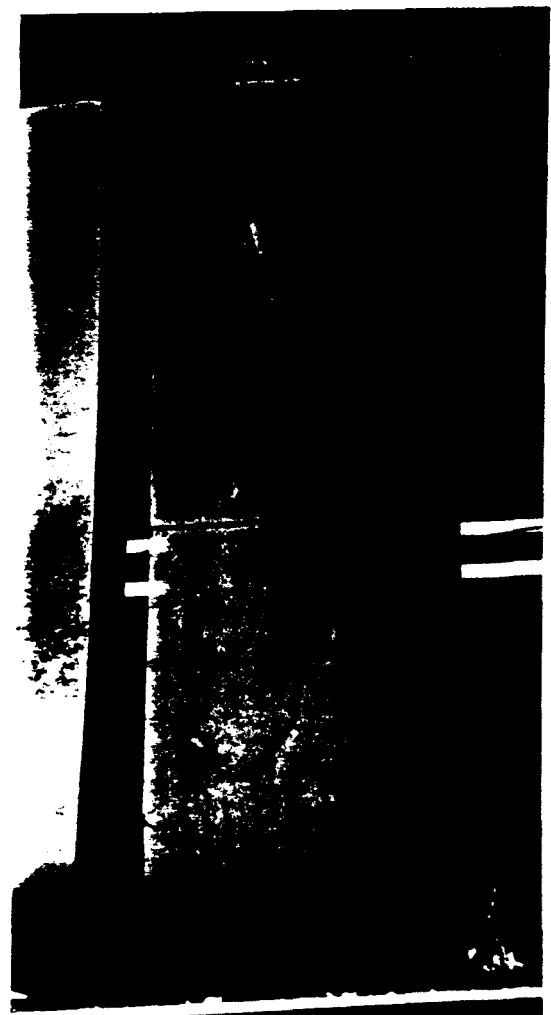


Bild 45

Bild 43: Stützenabschnitt 6 nach dem Brandversuch
Bild 44: Stützenabschnitt 8, Seite 1, nach dem Brandversuch
Bild 45: Stützenabschnitt 8, Seite 2, nach dem Brandversuch

Anlage F16 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

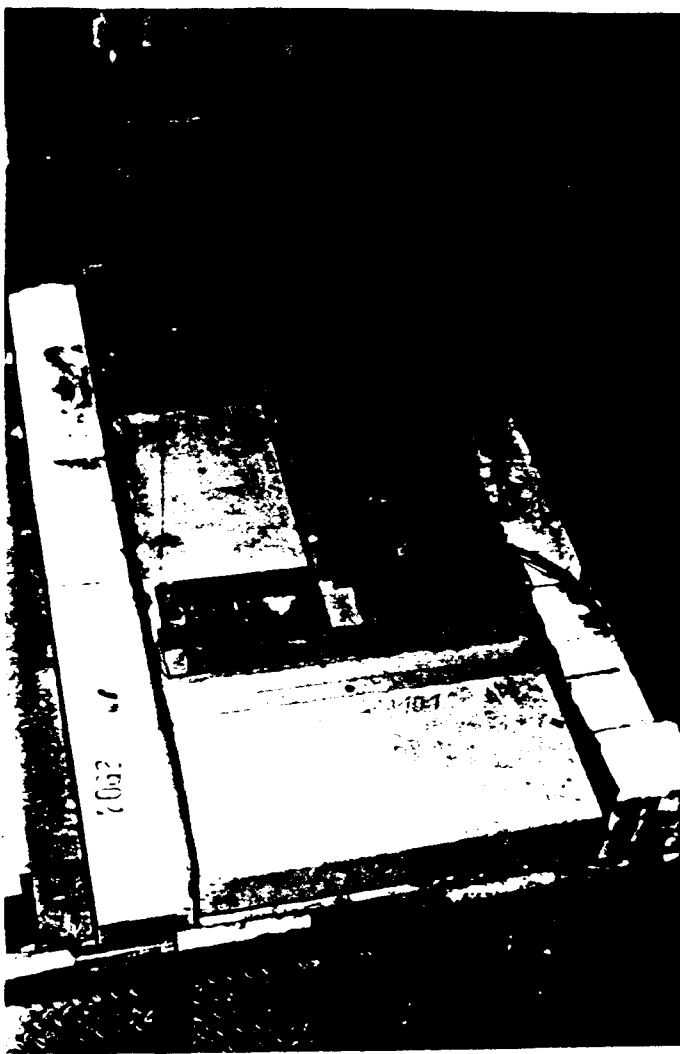


Bild 46

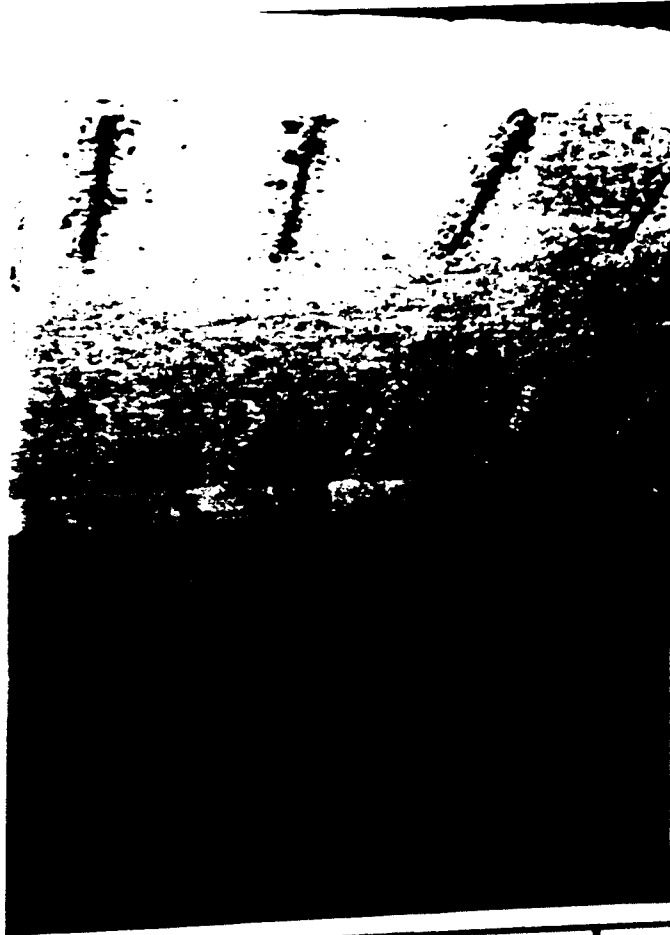


Bild 47

Bild 46: Darstellung der Lasteinleitung bei den Plattenstreifen
 Bild 47: Plattenstreifen mit aufgetragenem Korrosionsschutz

Anlage F17 zum
 Forschungsvorhaben
 "Sanierung"
 Az.: VB1-72.02-
 Nr. 190/86

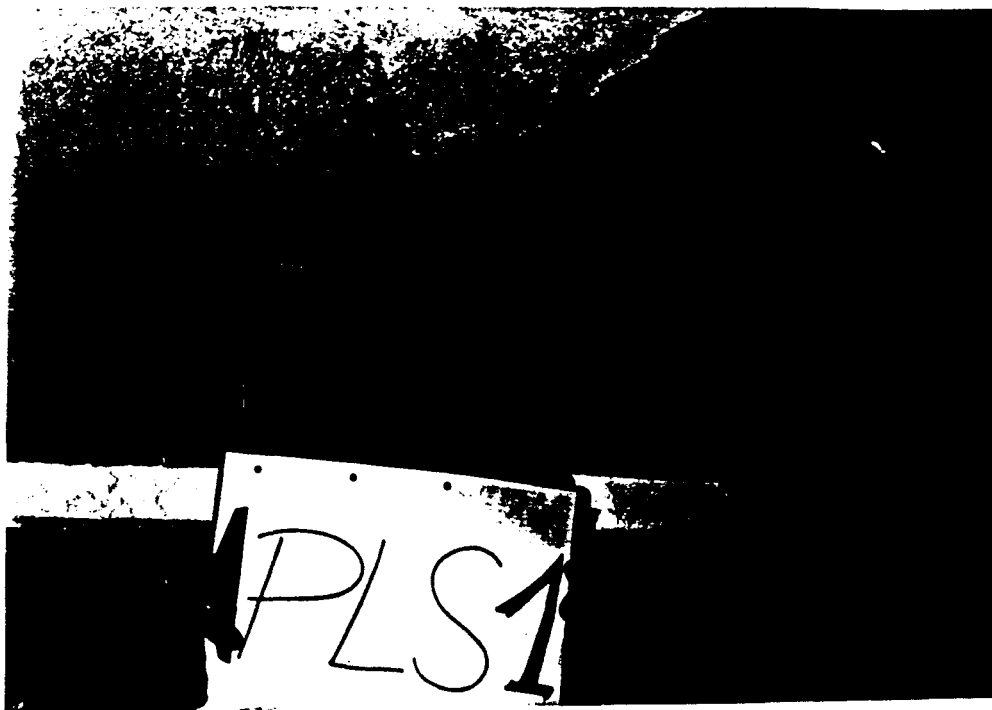


Bild 48

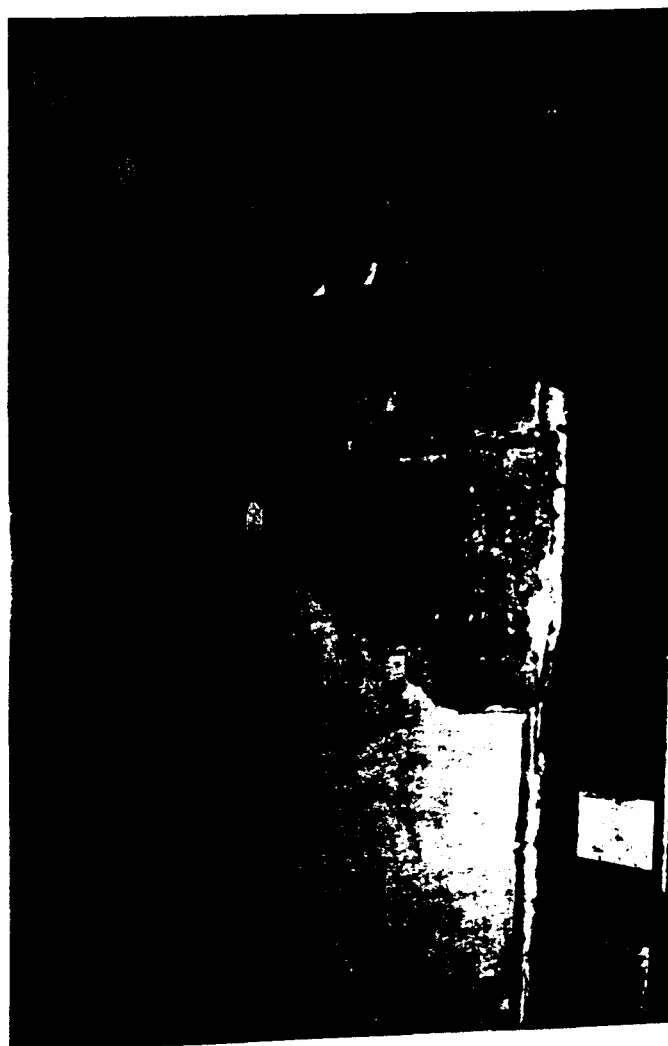


Bild 49

Bild 48-49: Plattenstreifen 1 nach dem Brandversuch und der Abkühlphase

Anlage F18 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

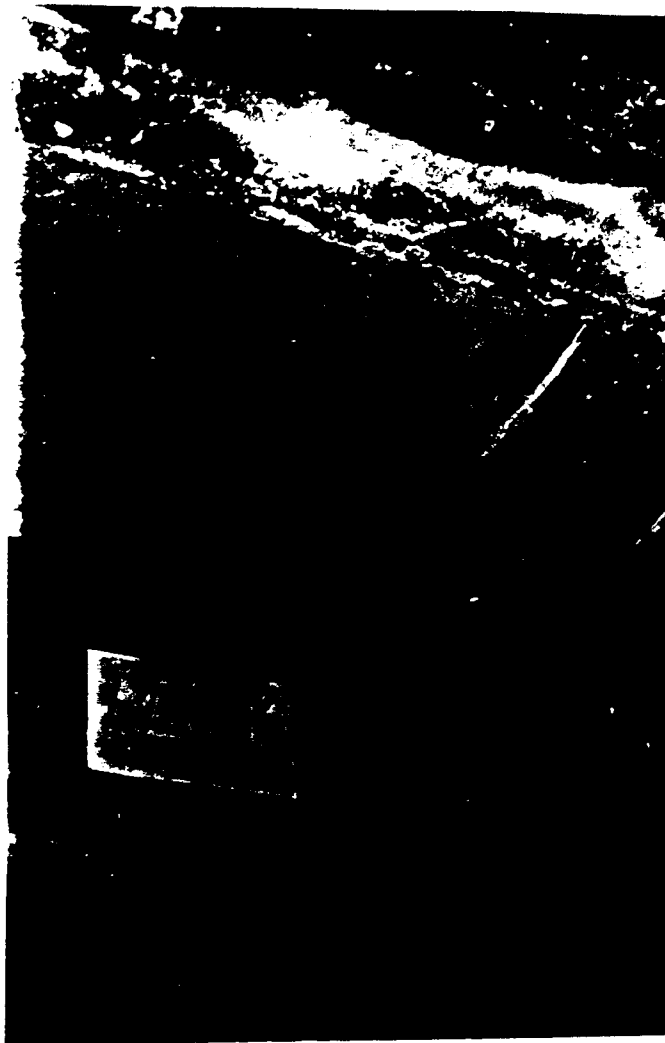


Bild 50

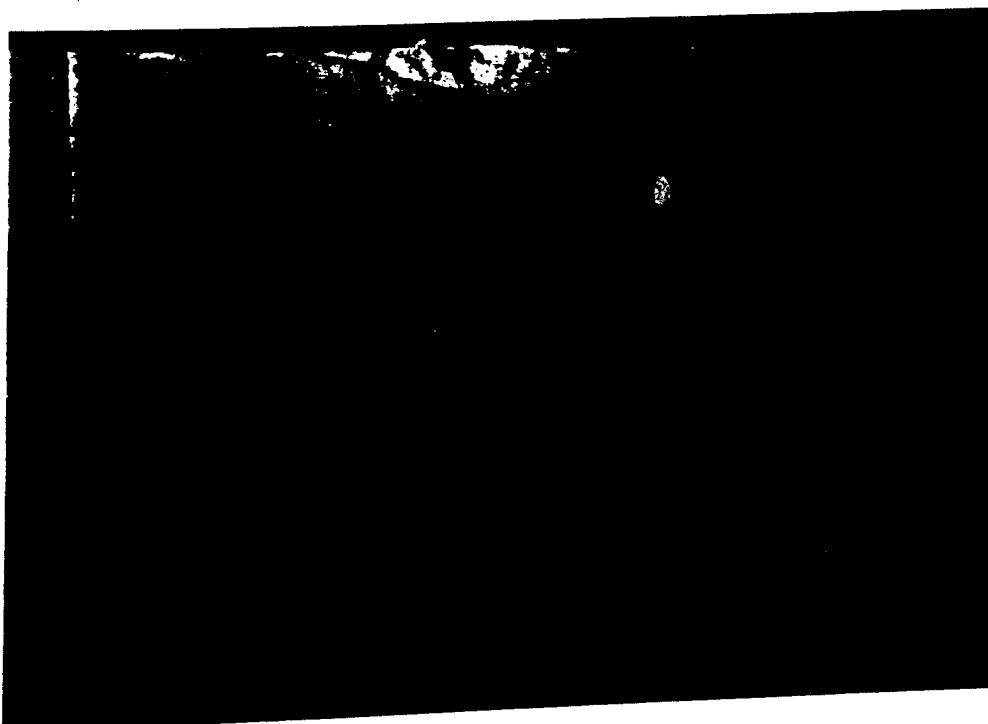


Bild 51

Bild 50-51: Plattenstreifen 3 und 4 nach dem Brandversuch
und der Abkühlphase

Anlage F19 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

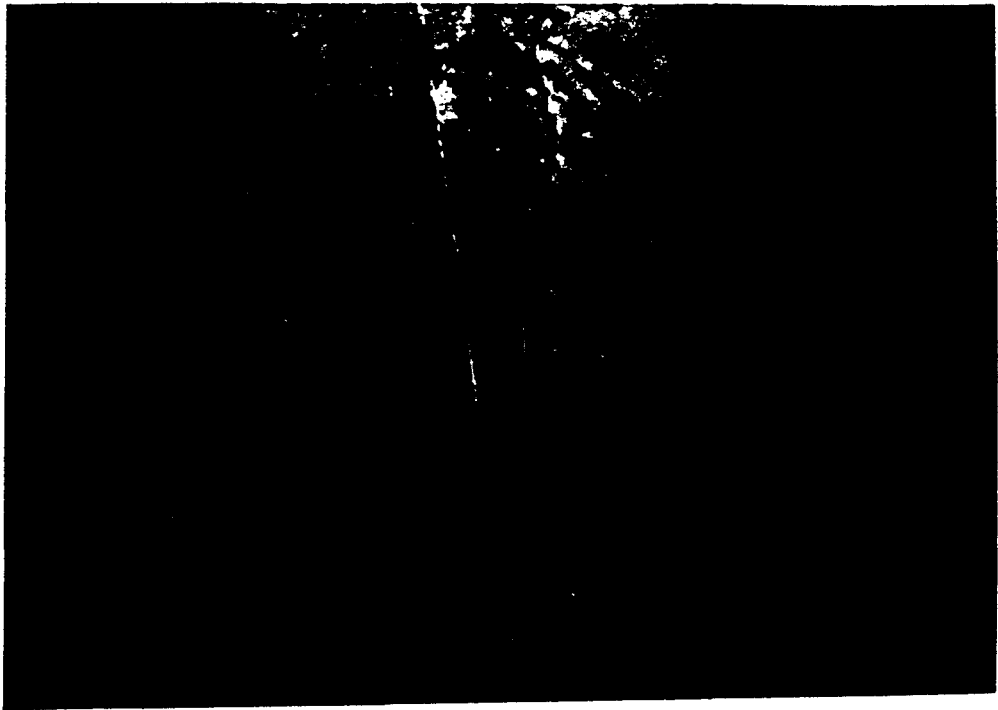


Bild 52



Bild 53

Bild 52-53: Plattenstreifen 4 nach dem Brandversuch
und der Abkühlphase

Anlage F20 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86

Bild 54



Bild 55

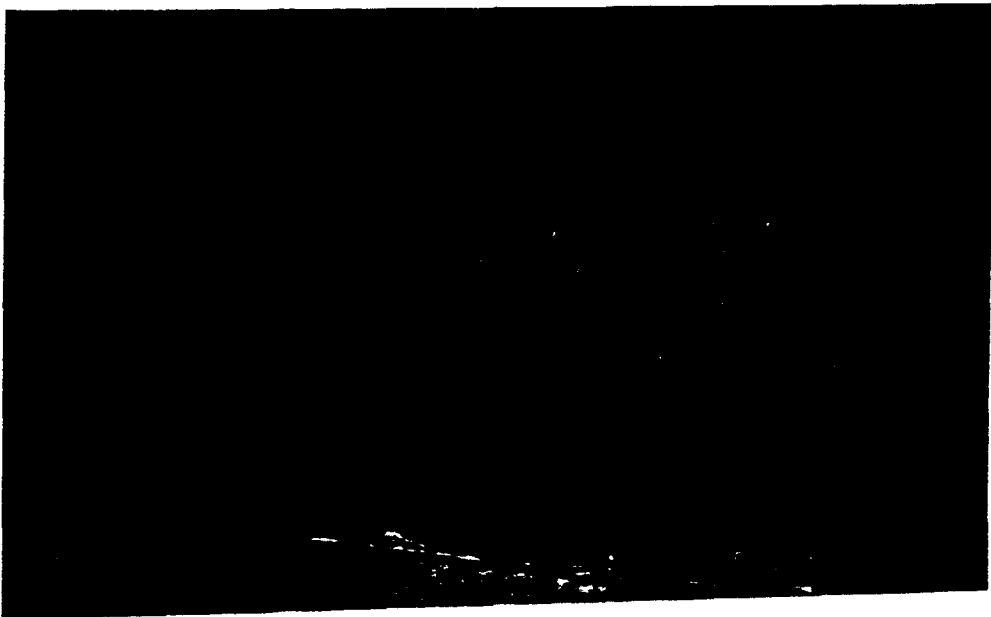


Bild 56

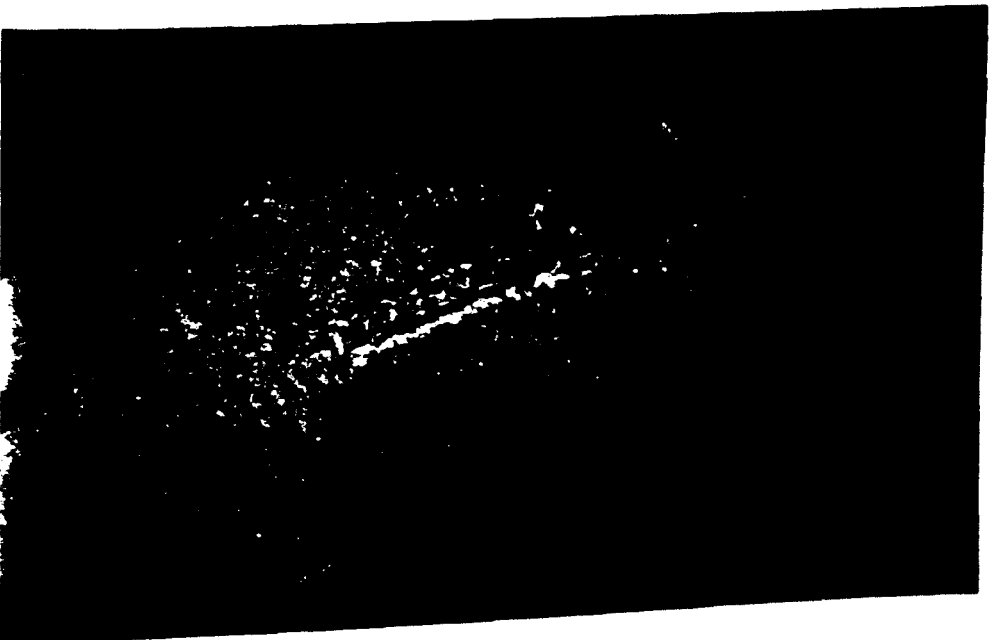


Bild 54: Rißbild des Balkens nach der Kaltbelastung
Bild 55-56: Balken nach dem Brandversuch

Anlage F21 zum
Forschungsvorhaben
"Sanierung"
Az.: VB1-72.02-
Nr. 190/86